جغرافية الموارد المائية

د. حسن أبو سمور
كلية العلوم الاجتماعية والإنسانية
الجامعة الأردنية

د. حامد الخطيب
مركز الدراسات والاستشارات
الجامعة الأردنية

Bibliotheca Alexandrina
0111660

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ﴾

صدق الله العظيم

جغرافية الموارد المائية

جغرافية الموارد المائية

تأليف

د. حسن أبو سمور

كلية العلوم الاجتماعية والانسانية

الجامعة الأردنية

د. حامد الخطيب

مركز الدراسات والاستشارات

الجامعة الأردنية

الطبعة الاولى

١٩٩٩م - ١٤٢٠هـ

دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان

رقم الايداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (١٧٧٤/ ١٠/ ١٩٩٨)

رقـــم التصنيـــف : ٥٥١,٤٨٩١
المؤلف ومن هو في حكمه : حسن أبو سمور - د.حامد الخطيب
عنـــوان الكتاب : جغرافيا الموارد المائية
الموضـــوع الرئيـــسي : ١- العلوم الطبيعية
٢- علم المياه الهيدرولوجي
بيانـــات النـــشر : عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع

* - تم اعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

حقـــوق الطبع محفوظة للناشر

Copyright ©
All rights reserved

الطبعة الأولى

1999 م - 1420 هـ

دار صفـــاء للنشر والتوزيع

عمان - شارع السلط - مجمع الفحيص التجاري - هاتف وفاكس ٤٦١٢١٩٠

ص.ب ٩٢٢٧٦٢ عمان - الاردن

DAR SAFA Publishing - Distriuting

Telefax: 4612190 P.O.Box: 922762 Amman - Jordan

المحتويات

المقدمة.. 7

الفصل الأول 9

كميات المياه في الطبيعة.......................... 10

العلوم المائية.................................... 12

الدورة المائية العامة............................. 14

الأحواض المائية.................................. 19

الشبكة المائية.................................... 22

تغذية الأنهار..................................... 28

السرير النهري.................................... 33

الفصل الثاني

التساقط 41

كثافة الأمطار..................................... 46

قياس الأمطار..................................... 47

تعويض البيانات المفقودة........................... 61

فترات الرجوع..................................... 68

الثلج.. 70

التبخر... 74

تقدير التبخر...................................... 85

قياس التبخر من المسطحات المائية.................. 87

أجهزة قياس التبخر................................ 88

التبخر الحقيقي والتبخر الكامن...................... 90

معادلة ثورنثويت................................... 92

معادلة بنمان.. 95

الفصل الثالث

الجريان 101

القدرة السطحية والاعتراض.................................. 102
الجريان السطحي.. 105
محطات قياس التصريف المائي.................................. 106
تحليل التصريف المائي.. 122
الفيضانات.. 138

الفصل الرابع

المياه الجوفية.......................... 151

الأشكال المائية الجوفية.................................. 156
التغذية الاصطناعية للماء الجوفي.................................. 162
البحث عن الماء الجوفي.................................. 175
الينابيع.. 182

الفصل الخامس

البحيرات والمستنقعات والبحار والمحيطات

البحيرات.. 189
المستنقعات.. 197
البحار والمحيطات.. 199

الفصل السادس

تقييم الموارد المائية في العالم.................................. 225
تقييم الموارد المائية في العالم العربي.................................. 235

المقدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على رسوله الأمين.

وبعد......

إن المياه وليست الطاقة هي مشكلة القرن الواحد والعشرين، هذا ما أكدته النتائج التي توصلت إليها المنظمات الدولية العاملة في مجال المياه. كما أن صحة الانسان ورفاهه والأمن الغذائي والتنمية الصناعية والنظم الايكولوجية، معرضة جميعها للخطر ما لم تتم ادارة الموارد المائية والأراضي بفعالية أكثر مما كانت عليه في الماضي.

إن المياه هي من أهم العناصر التي يجب توافرها وصيانتها لتحقيق أهداف الاستراتيجية المائية الدولية وفي مقدمتها حماية البيئة وتحقيق التنمية المتواصلة. فالمناطق الجافة وشبه الجافة هي المناطق الأكثر تأثراً بالعوامل الطبيعية والنشاط البشري، وعلى المستوى الوطني فإن الدول العربية ودول الساحل الافريقية هي الدول التي تعاني حالياً نقص المياه والذي سوف يتطور نتيجة للنمو السكاني السريع إلى عجز مائي دائم.

اننا نضع هذا الكتاب في جغرافية الموارد المائية للباحثين وطلاب الجغرافيا في الجامعات العربية كي يسد نقصاً في المكتبة العربية حول هذا الموضوع.

وتنقسم الدراسة في هذا الكتاب إلى ستة فصول، تتناول موضوعات مختلفة في مجال جغرافية الموارد المائية. حيث يتناول الفصل الأول التعريف بعلم المياه وتحديد مجاله وعلاقته بالعلوم الأخرى، ويتطرق بعد ذلك الى الأحواض المائية، والأسرّة النهرية والمقاطع الطولية والعرضية للأحواض المائية.

أما الفصل الثاني فتعرض بالتفصيل لموضوع الأمطار وطرق قياسها وتقدير كمياتها، وموضوع التبخر وطرق قياسه ومعادلات تقديره، ومحددات

وقياس الثلج.

ويناقش الفصل الثالث موضوع الجريان المائي من خلال العوامل المؤثرة فيه، وأنواع الجريان المائي ومحطات قياس التصريف المائي وأساليب تحليل البيانات الهيدرولوجية بأستخدام الطرق الأحصائية والمنحنيات الهيدروغرافية والفيضانات.

أما الفصل الرابع فيتناول موضوع المياه الجوفة الذي عالج المؤلفان فيه أنواع الطبقات الخازنة للمياه الجوفية والينابيع بأنواعها العذبة والمعدنية والحارة وطرق البحث عن المياه الجوفية.

أما الفصل الخامس فعالج موضوع البحيرات والعوامل المحددة لأستمرار وجود المياه في البحيرات ومحددات التوزيع الجغرافي لها. كما تناول هذا الفصل موضوع مياه البحار والمحيطات وخصائص مياهها من حيث الملوحة والحرارة والتيارات البحرية.

أما الفصل السادس والأخير فيستعرض تقييما للموارد المائية السطحية والموارد المائية الجوفية، في العالم العربي والعالم.

وإذ نضع هذا الكتاب بين يدي القارئ، لا ندعي أنه يبز أمثاله أوانه يحيط بموضوعات جغرافية الموارد المائية أحاطة كاملة شاملة وأنما يمثل جهدا" متواضعا" لمؤلفيه، ويمكن أن يفيد الأساتذة الزملاء وطلاب الجغرافية كمرجع جغرافي، وندعو الله أن نكون قد وفقنا في أعداد موضوعاته وعرضها بصورة تلقى قبولاً حسناً وتقديراً من القارىء الكريم.

والله ولي التوفيق.

المؤلفان

عمان / 1998

الفصل الأول

مقدمة:

تعتبر المياه احد العناصر الضرورية للحياة على كوكب الأرض وقد قال الله تعالى "وجعلنا من الماء كل شيء حي" صدق الله العظيم، فاذا اعتبرنا أن الأرض نظام أعلى **Super System** فان هذا النظام مكون من أربعة أنظمة رئيسية هي النظام الغازي **Atmosphere** والنظام الصخري **Lithosphere** والنظام الحيوي **Biosphere** والنظام المائي **Hyolrosphere**.

والهيدرولوجيا علم واسع يشمل كل المياه في الكرة الأرضية وان مصطلح **Hydrology** يتكون من مقطعين **Hydro** وتعني المياه و **Logy** وتعني علم.

وقد توصلت المنظمات الدولية وخاصة الوكالات التابعة للأمم المتحدة والمتخصصة في مجال المياه الى أن الماء وليس الطاقة هي مشكلة القرن الحادي والعشرين.

وقد عزز هذا الراي كل من مؤتمر دبلن 1992 ومؤتمر ريودي جانيرو عام 1994، حيث أشارت هذه المؤتمرات بان صحة الانسان ورفاهه والأمن الغذائي والتنمية الصناعية والنظم الايكولوجيه، معرضة كلها للخطر ما لم تتم ادارة الموارد المائية والأراضي بفعالية تزيد عما كانت عليه في الماضي.

كمية المياه في الطبيعة وكيفية تكوينها :

توجد المياه في الطبيعة في ثلاث حالات هي بخار وسائل وصلب، وتتوزع كميات المياه في الكرة الأرضية كما يلي :

1. مساحة البحار والمحيطات تبلغ 361 مليون كم^2 وتوجد فيها كمية من المياه تقدر بنحو 1370 مليون كم^3.

2. مساحة اليابس (القارات) تبلغ 149 مليون كم^2 وتوجد فيها كمية من المياه تقدر بنحو 84 مليون كم^3.

3. مجموع مساحة الكرة الأرضية 510 مليون كم^2 وفيها كمية من المياه تقدر بنحو 1455 مليون كم^3.

وتتوزع الموارد المائية على اليابسة على النحو التالي :

1. مياه المجاري المائية والأودية والمسيلات المائية وفيها كمية من الماء تقدر بنحو 1.2 ألف كم^3.

2. المياه الموجودة في البحيرات والمستنقعات تقدر بنحو 230 ألف كم^3.

3. المياه الموجودة في التربة بصورة طبيعية وتقدر بنحو 82 ألف كم^3.

4. المياه الموجودة في الكائنات الحية وتقدر بألفي كم^3.

ويمكن أن تتوزع كميات المياه في الكرة الأرضية كنسب مئوية كما يلي :

1. تحتوي البحار والمحيطات على 97.2 ٪ من مياه الكرة الأرضية.

2. تحتوي الجبال الجليدية والمناطق القطبية على 2.15٪ من مجموع مياه الكرة الأرضية.

3. تحتوي الأنهار والبحيرات والينابيع والآبار والمياه الجوفية (وهي المياه العذبة الموجودة في الأرض) على نسبة 0.64٪ من مجموع مياه الكرة الأرضية.

4. يحتوي الغلاف الغازي على 0.01 ٪ من مجموع الماء الموجود في الأرض على شكل بخار وماء.

وهذه الكميات من المياه موجودة أصلاً قبل ظهور أدنى أنواع الحياة على سطح الأرض، بل في الواقع أن بدايات الحياة ظهرت في داخل الماء. وبالأخذ بعين الاعتبار التركيب الكيماوي يمكن القول بأنه في أحد مراحل تشكيل كوكب الأرض تكونت حالة حرجة من الضغط والحرارة، حيث أن كلا الغازين الهيدروجين والأكسجين والموجودين في الغلاف الجوي بكميات كبيرة أصبح عندهما امكانية تشكيل الماء الناتج عن التقاء الضغوط الكهربائية.

لقد تشكلت في البداية كميات من بخار الماء والتي أحاطت قشرة الأرض وكانت واقعة تحت ظروف حرارية عالية. وقد أحدث تكاثف بخار الماء تحت تأثير التبرد المستمر تساقطاً غزيراً من الماء على سطح الأرض، وقد تبخر جزء منها وتجمع بعضها في منخفضات واسعة جداً في القشرة الأرضية، مما أدى الى تجمع الماء وباستمرار حتى تشكلت البحار والمحيطات في شكلها البدائي. وتأثرت فيما بعد بالمعادن وبأملاح الصخور التي أذيبت في المياه الجارية وحتى أحواض التجمع (البحار والمحيطات). وقد أثرت فيما بعد مرحلة الجليديات التي

عملت على تعديل بعض المساحات المورفولوجية المحتوية على المياه. وقد عدلت الجليديات الحالة الفيزيائية للماء في مناطق واسعة، وفي الوقت الحالي يشكل الجليد والثلج الدائم كمية من المياه مقدارها 24 مليون كم^3.

العلوم المائية :

ان الهيدرولوجيا والتي عرفت حديثاً بـ Physical Hydrology أو Global Hydrology تدرس دورة المياه العامة في الكرة الأرضية والتيارات المائية والأنهار والبحيرات وغيرها. وقد عنيت علوم أخرى بدراسة المياه قبل الهيدرولوجيا في مساحات واسعة من الكوكب الأرضي، وقد وصلت بعض هذه العلوم الآن الى تطور كبير في تحديد مفاهيمها واستنتاجاتها العلمية ومنها :

1. الهيدرولوجي Hydrology وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه السطحية والمجاري المائية والبحيرات والمياه الباطنية ذات العمق القليل. وقد تفرعت من هذا العلم علوم خاصة بكل نوع وهي :

أ. بوتامولوجي Potamology وهي العلم الذي يهتم فقط بدراسة المجاري المائية.

ب. لمنولوجي Limnology وهو العلم الذي يهتم بدراسة البحيرات والمستنقعات.

ج. كريولوجي Criology وهو العلم الذي يهتم بدراسة الجليد والجليديات القطبية.

2. علم البحار والمحيطات Oceanography وهو العلم الذي يهتم بدراسة

المياه في البحار والمحيطات.

3. هيدرولوجي Hydrogeology وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه الجوفية ولأعماق كبيرة من سطح الأرض.

4. هيدرومتيورولوجي Hydrometeorology وهو علم ملازم لعلم الأرصاد الجوية Meteorology وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه في الغلاف الغازي.

كل هذه العلوم بدأت تأخذ مكاناً خاصا لها في الفترة الأخيرة ولكنها لا تستطيع الوصول الى مرحلة الاستقلال التام لأنها مرتبطة دائما بفروع العلم الأم وهو علم المياه Hydrology. الا أن هذه العلوم الهيدرولوجية مرتبطة مع علوم أخرى أهمها علم الفيزياء والجيوفيزياء والكيمياء والقوى المائية والجيولوجيا واقتصاد المياه وكذلك بعض النظريات والتطبيقات الرياضية والاحصائية.

يعالج علم الهيدرولوجي الموضوعات والمشاكل العملية التالية :

- ثبات التوازن الهيدرولوجي من خلال مناقشة الموضوعات الأساسية التالية : الأمطار التبخر، رطوبة التربة، الجريان والأحواض المائية.
- تحديد معدل كمية المياه الجارية والمارة في مقطع عرضي للمجاري المائية.
- تفاوت كمية المياه الجارية في أوقات مختلفة يومياً وشهريا وسنويا.
- تحديد الكميات الكبرى للجريان (الفيضان) والكميات الدنيا للجريان (الشح).

- التصريف الصلب وهي المجروفات المنقولة والمترسبة بواسطة المياه.
- تقدير مستويات الماء في قنوات المجاري المائية.
- تأثير نشاط الانسان على نوعية وكمية المياه الطبيعية.

من هنا يتضح جلياً أن الهيدرولوجيا هو علم يدرس تشكل دورة المياه وتوزيعها والتأثير المتبادل مع البيئه ونشاطات الانسان المختلفة.

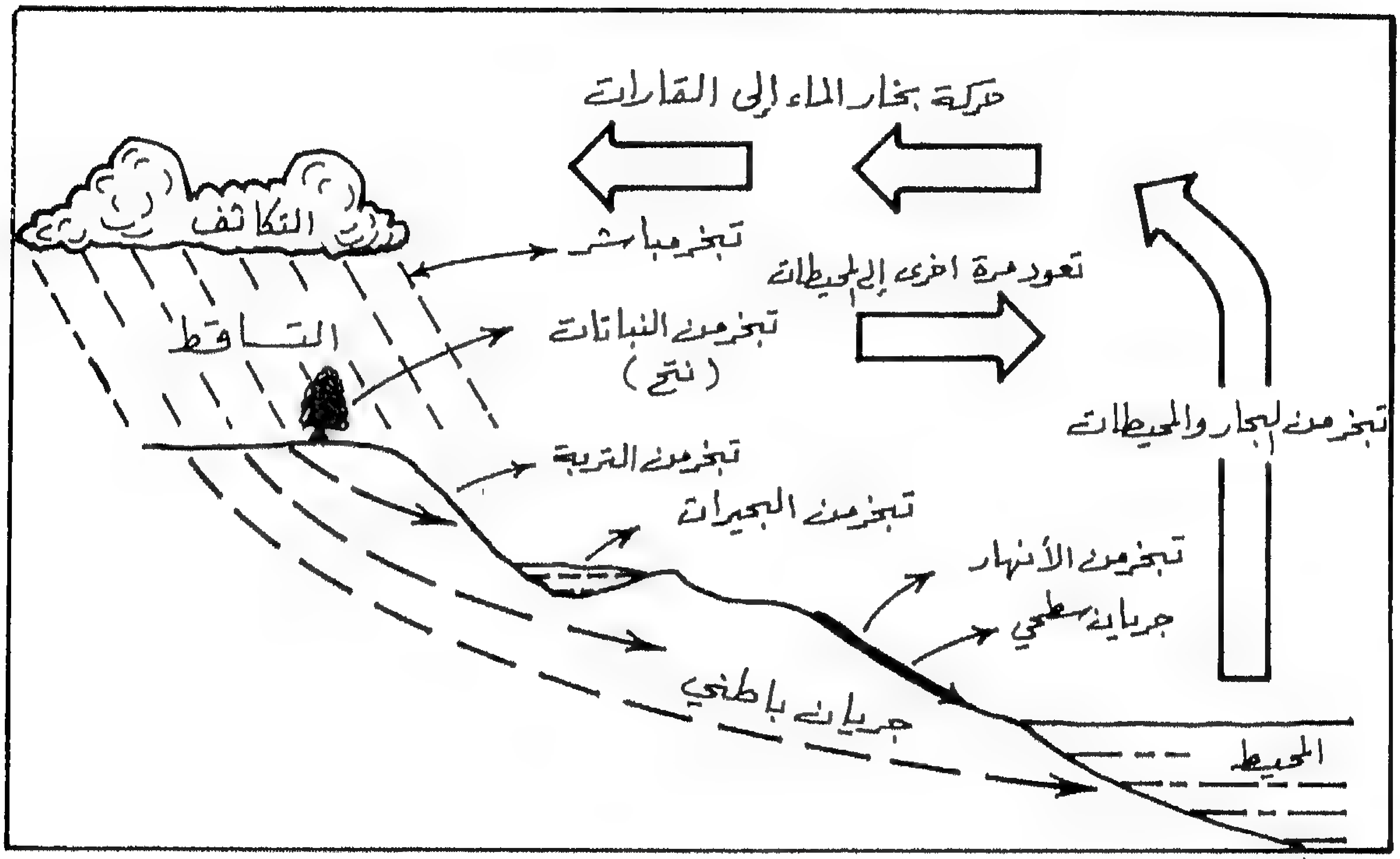
الدورة المائية العامة :

تشارك المياه في الغلاف الغازي وفي البحار والمحيطات وكذلك المياه في اليابسة في دورة واحدة تسمى بالدورة المائية العامة.

وقد أثبتت الدراسات الحديثة بأن متوسط كمية المياه التي تتحرك سنوياً بفعل هذه الدورة تصل إلى 520 ألف كم^3، وهذه الكمية تمثل نسبة محدودة من مجموع الماء في كوكبنا. وهذه الكمية هي التي تبقى الماء وكذلك تبقي الحياة على الأرض. فالدورة المائية العامة تؤثر بها عوامل مهمة، فالطاقة الشمسية التي تبخر كمية كبيرة من الماء، وكذلك التيارات الهوائية والرياح تنقل كميات كبيرة من بخار الماء، وكذلك الجاذبية الأرضية كلها عوامل تلعب دورا هاما في عملية الدورة المائية العامة.

ففي الشكل (1) حيث تسقط الأشعة الشمسية على سطح المحيطات والبحار فتبدأ عملية التبخر من المسطحات المائية، ومن سطح الأرض، فتنقل بخار الماء الى الغلاف الغازي ثم تتم عملية تكثيف لهذا البخار فيتجمع ليسقط ثانية على هيئة مطر أو ثلج على سطح الأرض والمحيطات. وما يسقط على

سطح الأرض يعود ثانية الى المحيطات والبحار بطريق مباشر وغـير مباشر، كمـا أن جزءا من التساقط يتبخر مباشرة أثنـاء السـقوط الى الغـلاف الغـازي وهـذه العمليـة مستمرة، وبفضل استمرارية هذه الدورة يمكن القول بأن الماء موجـود بشكل أو بآخر لاستعمال الانسـان علـى سطـح الأرض وانـه لـن ينتـهي طالمـا استمرت الظروف الطبيعية كما هي.



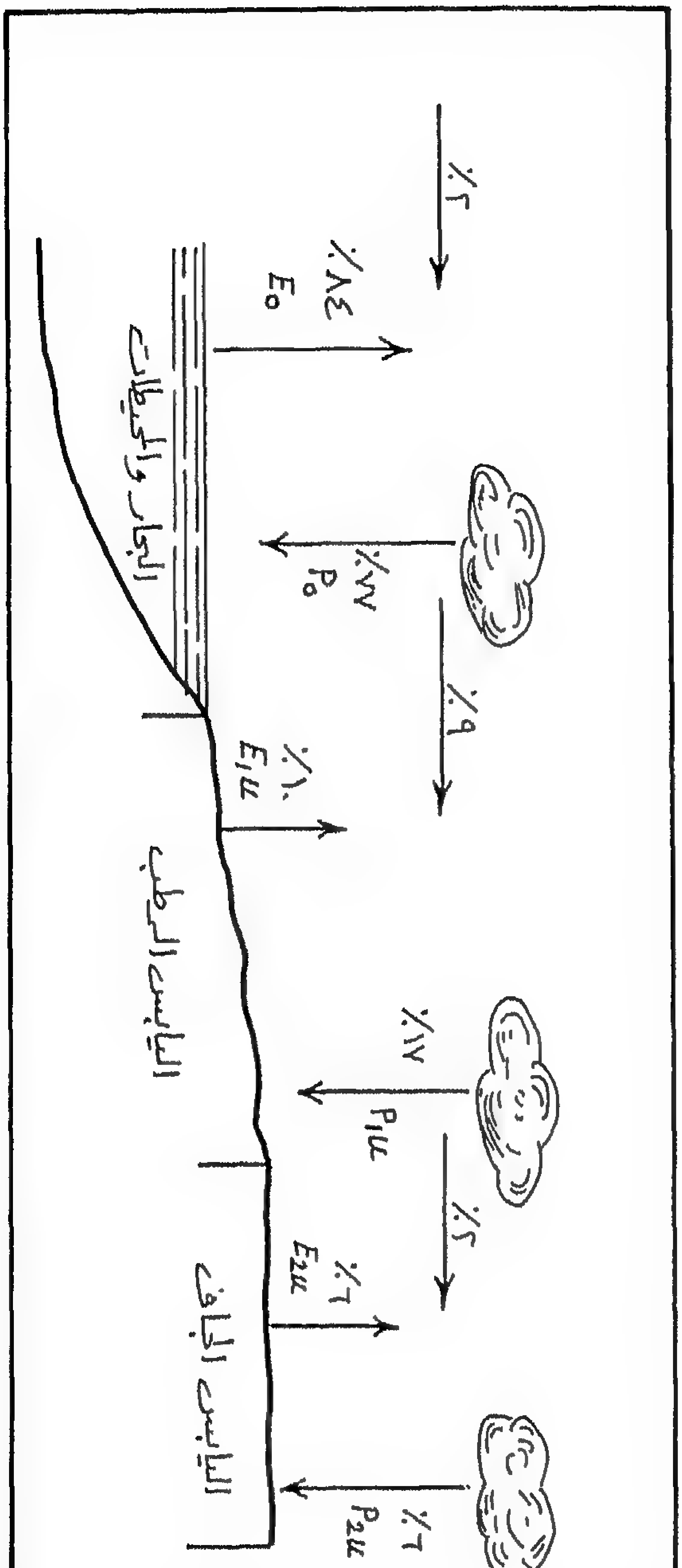
شكل (1) الدورة المائية العامة

ويمكن تقسيم عناصر الدورة المائية العامة بالنسب المئوية كما يلي :

1. التبخر من الغلاف المائي ويرمز له بالأحرف E_O = 84٪.
2. الأمطار في الغلاف المائي ويرمز له بالأحرف P_O = 77٪.
3. التبخر من الغلاف اليابس / المنطقة الرطبة ويرمز له بالأحرف E_{1u}= 10٪.
4. الأمطار في الغلاف اليابس / المنطقة الرطبة ويرمز له بالأحرف P_{1u}= 17٪.
5. التبخر في الغلاف اليابس / المنطقة الجافة ويرمز له بالأحرف E_{2u} = 6٪.
6. الأمطار في الغلاف اليابس / المطقة الجاف ويرمز له بالأحرف P_{2u} = 6٪.
7. بخار الماء المنقول بواسطة التيارات الهوائية من الغلاف المائي (البحار والمحيطات) الى اليابس = 9٪
8. بخار الماء المنقول من المناطق الرطبة الى المناطق الجافة = 2٪.
9. بخار الماء المنقول من المناطق الجافة الى البحار والمحيطات = 2٪ (الشكل 2)

التوازن الكلي والجزئي في الدورة المائية العامة :

ناقشنا حركة الماء في الدورة المائية العامة في عناصر مختلفة وفي ثلاث مناطق مختلفة هي البحار والمحيطات والمنطقة اليابسة الرطبة والمنطقة اليابسة الجافة، وكل منطقة من هذه المناطق يحدث فيها توازن في كل منطقة على حدة وكلها تمثل توازنا كليا في الدورة المائية على الكرة الأرضية، اذا اعتبرنا كميات المياه الداخلة والخارجة وعلى مدار السنة فاننا نجد العلاقات التالية :



شكل (2) التوازن الكلي والجزئي للدورة المائية

1- $P_0 = E_0 + 2\% - 9\% = E_0 - 7\%$

أي أن كمية الأمطار في البحار والمحيطات تساوي التبخر من الغلاف المائي يضاف اليها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح مطروحا منها 9٪ منقولة منها الى المنطقة اليابسة الجافة.

2- $P_{1u} = E_{1u} + 9\% - 2\% = E_{1u} - 7\%$

وهذا يعني أن كمية الأمطار في المنطقة اليابسة الرطبة تساوي كمية التبخر منها مضافا اليها 9٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح القادمة من الغلاف المائي مطروحا منها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح المنقولة الى اليابس الجاف.

3- $P_{2u} = E_{2u} + 2\% - 2\% = E_{2u}$

أي أن كمية بخار الماء من اليابس الجاف مضافا اليها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح من اليابس الرطب مطروحا منها كمية بخار الماء المنقول منها 2٪ الى الغلاف المائي تساوي كمية الأمطار فيها. ويمكن وضعها جميعا في المعادلة التالية:

4- $P_0 = P_{1u} + P_{2u} = E_0 + E_{10} + E_{2u}$

أي أن الأمطار في البحار مضافا اليها الأمطار في اليابس الرطب مضافا اليها الأمطار في اليابس الجاف تساوي كمية التبخر من الغلاف المائي والتبخر من اليابس الرطب والتبخر من اليابس الجاف.

ويمكن اختصار كل المعادلات السابقة في معادلة سهلة جدا وهي:

5- $P = E$

أي أن الأمطار = التبخر (شكل 2)

الأحواض المائية للأنهار :

تعتبر الأنهار مصدرا رئيسيا من مصادر المياه العذبة على سطح الأرض، لذلك فان دراسة الأنهار تحتل مكانة خاصة في علم الهيدرولوجي وذلك لما للأنهار من أهمية في حياة الانسان والنبات والحيوان.

الحوض النهري :

هو تلك المساحة من الأرض التي تفصلها عن الأحواض المجاورة الأخرى خطوط تقسيم للمياه. أو هو مساحة الأرض التي تتجمع منها مياه الأمطار لتجري في مجرى واحد. وقد تتطابق الأحواض النهرية السطحية مع الأحواض المائية الجوفية وقد لا تتطابق، ويعود ذلك الى طبيعة الوضع الجيولوجي والتكتوني في اعماق الحوض النهري.

وعادة ما تشتمل الأحواض النهرية الكبيرة على أحواض مائية ثانوية وهي عبارة عن أحواض رافدة للنهر الرئيسي. فمثلا حوض نهر الأردن يشمل عدة أحواض نهرية فرعية مثل حوض نهر اليرموك وحوض نهر الزرقاء وحوض نهر بانياس وحوض نهر الدان وحوض نهر الحاصباني وحوض نهر الفارعة، بالاضافة للأحواض الفرعية الأخرى للأودية الموسمية الجريان.

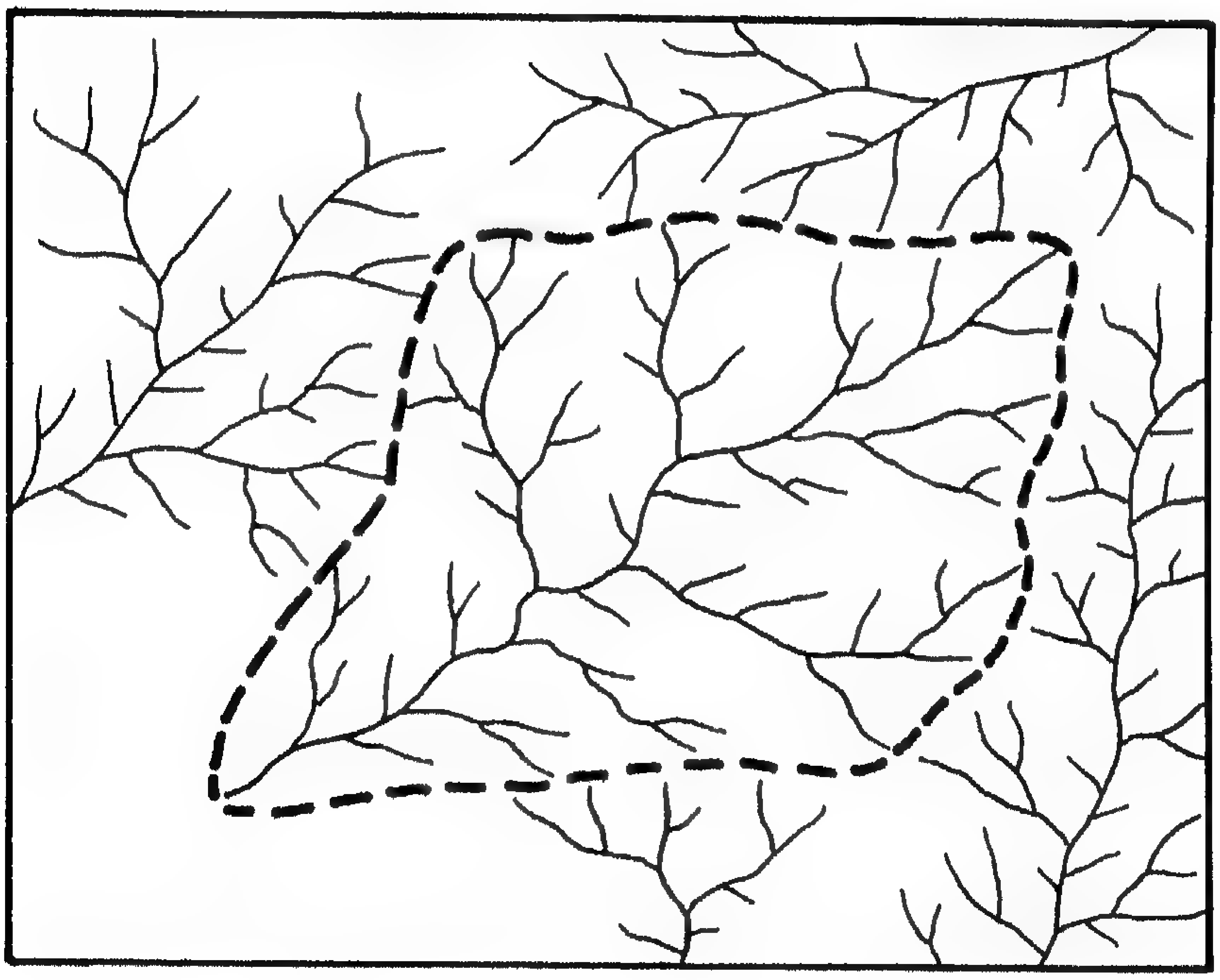
وتقسم الأحواض النهرية الى ما يلي :

1. الأحواض النهرية الكبيرة : وهي تلك الأحواض التي تزيد مساحتها على 50 ألف كم^2.
2. الأحواض النهرية المتوسطة : وهي تلك الأحواض التي تزيد مساحتها على

30 ألف كم^2.

3. الأحواض النهرية الصغيرة : وهي تلك الأحواض التي تتراوح مساحتها بين 5–30 ألف كم^2.

ويتم تحديد الحوض النهري عن طريق تحديد خط تقسيم المياه مع الأحواض النهرية المجاورة (شكل 3). وتحدد مساحة الحوض النهري بالكم^2، ويجب أن تكون له نقاط محددة بالأسماء أو بأرقام الكيلومترات من بداية منبع النهر، ويعطي حرف F تعبيرا عن المساحة ويجب أن نحسب مساحة الحوض النهري عند أي مقطع كان. وتقاس مساحة الأحواض النهرية عادة بجهاز البلانيميتر Planimetre.



شكل (3) تحديد الحوض النهري

ويقسم الحوض النهري عادة الى ثلاثة أجزاء هي :

1. الحوض الأعلى. 2. الحوض الأوسط. 3. الحوض الأدنى.

وعادة ما يشتمل الحوض الأعلى على منابع النهر ويشتمل الحوض الأدنى على مصب النهر. الا أننا سنتبع هنا تقسيم الحوض الى الأجزاء التالية:

1. منطقة المنابع :

وهي نقطة البداية للجريان النهري الحقيقي وقد يكون للنهر أكثر من منبع حيث يتشكل النهر هنا من التقاء رافدين أو أكثر. وقد تكون منطقة منبع النهر بحيرة، هنا يمكن رؤية المنبع بوضوح كنهر أنغارا **Angara** الذي ينبع من بحيرة بايكال **Baykal**. وقد تكون منطقة المنبع عبارة عن منطقة مستنقعات مثل منابع نهر الفولغا والذي يجمع ينابيعه من مستنقعات فالدايسكي **Valdaysky**. وهناك بعض الأنهار تبدأ منابعه من الجبال مثل جبال الألب والهيمالايا والقفقاس، كما يمكن أن تكون الجليديات في العروض العليا منابع للأنهار.

2. الحوض الأعلى للنهر :

ويتكون الحوض الأعلى عادة في المنطقة الجبلية للنهر، وتتميز تضاريسه بشدة الانحدار، ويكون التيار المائي سريعا جدا، وتسود عمليات النحت الرأسي ويتعمق مجرى النهر ليصبح على شكل حرف V ، وتكثر أيضا المسيلات المائية والجداول والشلالات.

3. الحوض الأوسط :

يصبح مجرى النهر في الحوض الأوسط اكثر اتزانا وهدوءا، حيث

تتناقص شدة النحت الرأسي وتصبح متوازنة مع عملية الترسيب، ويبدأ النحت الجانبي عند الضفاف، كما تتناقص سرعة التيار المائي وتصبح حمولته متوسطة الحجم.

4. الحوض الأدنى :

يزداد تناقص الانحدار في الحوض الأدنى حتى يبدو النهر وكأنه بدون انحدار، ونتيجة لذلك يبدأ النهر بالتعرج راسما اكواعا مختلفة الاحجام، والتي كثيرا ما تؤدي الى وجود أكواع مهجورة أو بحيرات هلالية، ويصل النهر هنا الى حالة الاتزان أو مستوى الاساس فلا يعود النحت الرأسي موجودا، وغالبا ما يعرف الحوض الأدنى للنهر بمنطقة السهل القليل الانحدار.

5. المصب :

بعد أن يصبح مجرى النهر في نهاية الحوض الأدنى فانه قد ينتهي الى البحر او الى البحيرة او الى مستنقع، أو قاع. وعادة ما يكون المصب أكثر وضوحا من المنبع الا أن الأنهار الكبيرة يصعب فيها تحديد مكان المصب وذلك بسبب دلتاواتها الكبيرة المساحة وتفرعات النهر داخل تلك الدلتاوات مثل دلتا نهر النيل والفولغا والمسيسيبي والدانوب وذلك بسبب كثافة تفرعها، لكن في الغالب تعتبر الفروع الكبيرة هي مصبات الأنهار.

الشبكة المائية :

تمثل أي شبكة مائية لسطح معين نظاما مشعبا من الأودية والمنخفضات الطبيعية والذي يمثل جريان الماء على سطح الأرض سواء كان ذلك الجريان ماء

مطر أو ماءا جوفيا باتجاه رئيسي. ولو نظرنا الى الشبكة المائية (اي شبكة مائية) لوجدنا أنها تمثل عروقا كما في عروق ورقة الشجرة أو تمثل نظام الاغصان عند الشبكات، وعادة ما يطلق على النوع من الشبكات بشبكات التصريف ذات النمط الشجري.

ونتيجة تدخل الانسان فان هذه الشبكة الطبيعية يمكن أن يتغير شكلها، فنلاحظ وجود بحيرات تجمع المياه أمام السدود أو نلاحظ قنوات من بناء الانسان لاستعمالها في الري او في الملاحة، واما بالعكس يمكن ان تتكون مستنقعات مائية تغطي بعض فروع الشبكة.

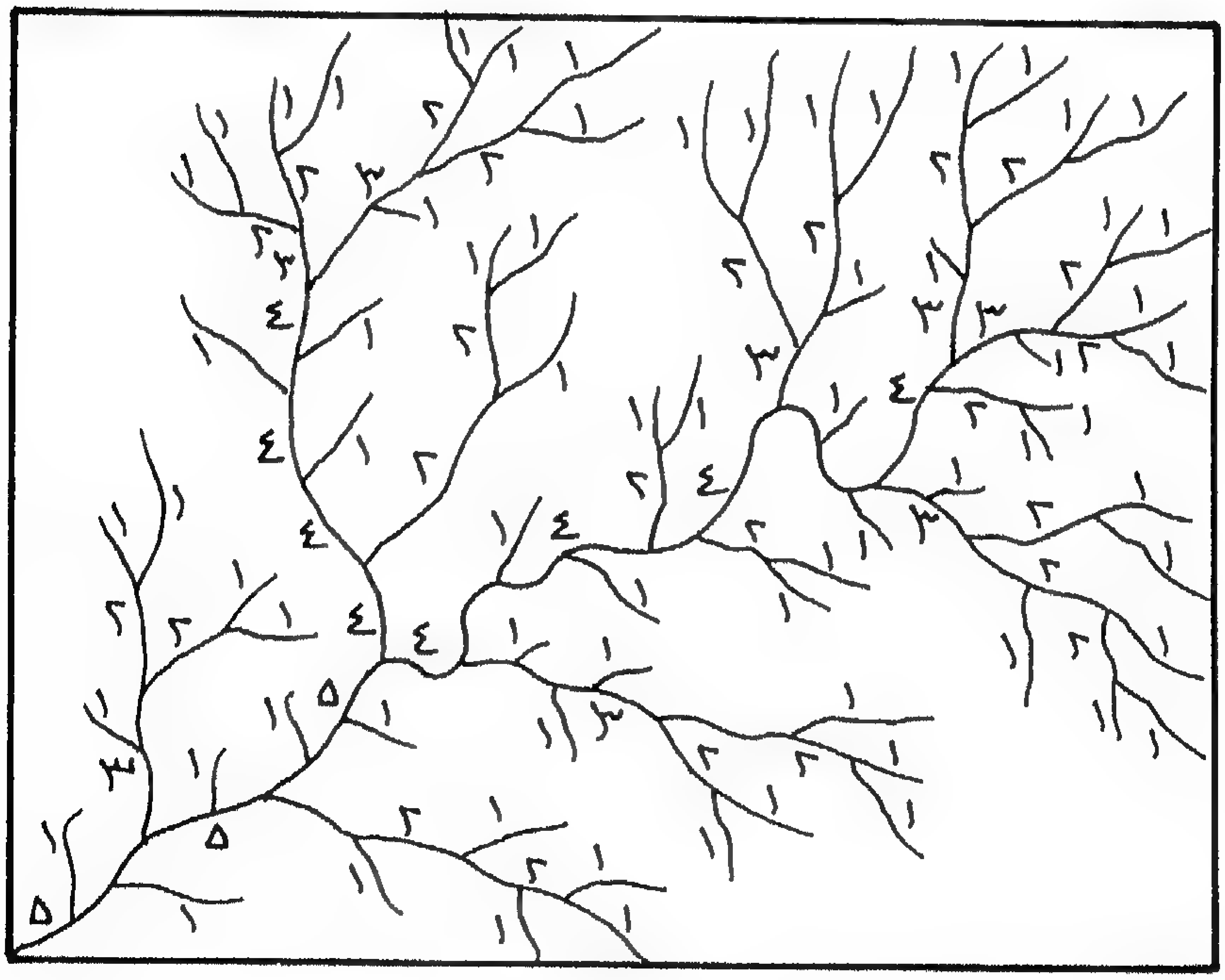
ان تشكيل الشبكات المائية حدث أصلا في عصور جيولوجية سابقة، عندما تشكلت على الأرض التضاريس اليابسة، فمنذ بداية العصور الجيولوجية وحتى الحقبة الأخيرة من العصر الجيولوجي الرابع Quaternar، لعبت عمليات الرفع والخفض لسطح القشرة الأرضية دورا أساسيا في تشكيل معظم الشبكات المائية الحالية، وتدخلت فيما بعد بعض التغيرات وذلك بفعل تداخل اليابس والماء.

فقد لعبت عمليات التعرية التي قامت بها الأنهار على فترة طويلة من الزمن دورا مهما في الشبكات المائية الحالية، فبعض الشبكات المائية كانت قد شكلت مراوح فيضية كبيرة عملت على تغيير مجراها ومن ثم خلق فروع جديدة في الشبكة المائية.

وتختلف الشبكات المائية في أهميتها، وذلك تبعا لطول الأودية الرئيسية او قصرها وكذلك تبعا لعدد الفروع الأخرى للمجرى الرئيسي او قلتها.

وتعطى روافد الشبكة المائية رتبا تبعا لأهميتها.وتقسم الرتب النهرية الى ما يلي:

1. ان اصغر رتبة نهرية تعطى الرقم 1 (N.1) وهي الأودية الصغيرة التي لا ترتبط بها فروع أصغر منها والتي تقل أطوالها عن 5كم.
2. الرتبة الثانية تعطى الرقم 2 (N.2) وهي الأودية التي تتكون نتيجة اتحاد رافدين أو أكثر من روافد الدرجة الأولى. (N.1).
3. المرتبة الثالثة وتعطى الرقم 3 (N.3) ، وهي عبارة عن اتحاد رافدين أو أكثر من روافد الرتبة السابقة 2 (N.2). وهكذا فكلما زادت الرتبة في الشبكة المائية كلما زادت أهمية الشبكة المائية (كما في الشكل 4).



شكل (4) الرتب النهرية

التواء النهر وتفرعه :

تؤثر البنية الجيولوجية للحوض النهري وطبيعة التربة والغطاء النباتي ونظام الجريان في جريان الأنهار، وعليه فان الأنهار لا تسير عادة بخطوط مستقيمة، بل انها تنعطف وتتلوى مشكلة ما يسمى بالأكواع النهرية البدائية والمتطورة. ويعبر عن تلوي النهر او التوائه بقرينه الالتواء، وهي عبارة عن العلاقة القائمة بين طول النهر الحقيقي (L) في منطقة ما وما بين خط مستقيم (I) يمتد عبر هذه المنطقة.

ويمكن حساب قرينة الالتواء كما يلي :

$$K = \frac{L}{I}$$

حيث أن:

L = طول النهر الحقيقي مع كل تعرجاته.

I = طول الخط المستقيم الذي يمتد من المنبع وحتى المصب.

أما بالنسبة لقرينة التفرع أو درجة التفرع فيمكن حسابها من خلال قياس طول كل التفرعات الثانوية مضافا اليها طول النهر الأساسي ثم تقسم هذه على طول النهر الرئيسي، وعليه يمكن حساب درجة التفرع كما في المعادلة التالية :

$$K = \frac{L1 + L2 + \ldots\ldots Ln + I}{L}$$

حيث أن:

L1 = طول روافد الدرجة الاولى

L2 = طول روافد الدرجة الثانية

Ln = طول روافد الدرجات الاخرى

I = طول الخط المستقيم الذي يمتد من المنبع حتى المصب

L = طول النهر الرئيسي بكل تعرجاته

كثافة الشبكة المائية :

هناك عدة طرق لقياس كثافة الشبكة المائية ومن أهمها وأكثرها استعمالا، تلك الطريقة التي تأخذ بعين الاعتبار مساحة الحوض النهري المراد معرفة كثافة شبكته المائية، ثم يحسب طول المجاري النهرية الموجودة ضمن هذه المساحة فيقسم طول الأنهار على المساحة وذلك حسب المعادلة التالية :

$$N = \frac{L}{A} = k/k^2$$

حيث أن:

L = مجموع طول الروافد.

A = مساحة الحوض النهري / كم^2.

التكرار النهري :

وتتمثل العلاقة هنا بعدد المجاري المائية بجميع رتبها ضمن حوض نهري معين مقسومة على مساحة ذلك الحوض بالكم^2 وذلك حسب المعادلة التالية :

$$Fr = \frac{N}{A}$$

حيث أن:

Fr = التكرار النهري

N = عدد المجاري المائية بجميع رتبها

A = مساحة الحوض النهري / كم^2

نسبة التشعب النهري :

ويحسب التشعب النهري بنسبة عدد الأنهار من رتبة معينة الى عدد الأنهار من الرتبة التي تليها وذلك حسب المعادلة التالية :

$$P = \frac{N1}{N2}$$

حيث أن:

P = نسبة التشعب النهري.

N1 = عدد المجاري المائية من رتبة 1.

N2 = عدد المجاري المائية من رتبة 2.

وهناك عدة علاقات أخرى تتعلق بالأحواض النهرية منها :

نسبة التضرس : وتعني الفرق بين أعلى وأخفض نقطة في الحوض النهري بالمتر مقسوما على طول الحوض النهري / كم وذلك حسب المعادلة التالية :

$$R = \frac{R1 - 2}{L}$$

حيث أن:

R = نسبة التضرس

R1 = أعلى نقطة في الحوض النهري عن مستوى سطح البحر.

R2 = أخفض نقطة في الحوض النهري بالنسبة لمستوى البحر.

L = أقصى طول للحوض النهري / كم.

معامل شكل الحوض النهري : وهو عبارة عن قسمة مساحة الحوض / كم^2 على مربع طول الحوض/كم، كما في المعادلة التالية:

$$Fo = \frac{A}{L}$$

حيث أن:

Fo = معامل شكل الحوض.

A = مساحة الحوض / كم^2.

L = أقصى طول للحوض النهري / كم.

تغذية الأنهار:

يعتبر التساقط بأشكاله المورد الأساسي لتغذية الأنهار، حيث تؤدي الأمطار والثلوج الى عملية الجريان على سطح الأرض، أما المصادر الأخرى فهي الغطاء الجليدي والمياه الجوفية. وتختلف نسبة هذه المصادر بين منطقة

وأخرى ومن نهر لآخر ومن فصل لآخر، وتعتمد نسبة هذه المصادر على عدة ظروف طبيعية منها : الظروف المناخية، حيث تزداد تغذية الأنهار بالمياه في المناطق التي تزداد فيها كميات الأمطار وتساقط الثلوج مثل المناطق الباردة والمناطق المعتدلة الرطبة والمناطق الجبلية والمناطق الاستوائية، حيث تتميز تلك المناطق بكثرة التساقط فيها طوال العام.

ويمكننا تمييز الأنواع التالية لتغذية الأنهار :

1. التغذية المطرية :

بعد هطول الأمطار على الأرض تبدأ التربة بالتشبع بالمياه وبعد أن تصبح التربة في حالة الاشباع، يبدأ الماء بالجريان على سطح التربة ليشكل مسيلات مائية لا تلبث أن تلتقي مشكلة جداول فأودية ثم تنتهي في مجاري مائية أكبر حتى يصل حجمها الى حجم الأنهار الكبيرة.

وتكون التغذية المطرية اما موسمية، فيزداد تصريف الأنهار وتصل ذروتها في فصل الصيف، واما ان تكون التغذية المطرية أكثر انتظاما كما هو الحال في المناطق الاستوائية، واما ان تكون التغذية المطرية غزيرة في فصل الأمطار وذوبان الثلوج كما هو الحال في العروض الوسطى البحرية، أما التغذية الصحراوية وبالرغم من شحها الا أنها قد تؤدي الى حدوث سيول جارفة وفجائية.

2. التغذية الثلجية :

يظهر أثر التغذية الثلجية بشكل واضح في العروض الوسطى والعليا وفي المناطق الجبلية العالية ؛ حيث يحدث ذوبان الثلوج في فصل الربيع وأوائل الصيف. وتكون فترة ذوبان الثلوج بين 30–90 يوما في العروض الباردة

والمتوسطة الا انها تغذي الأنهار بمياه تعادل 50–80 ٪ من مجموع تغذيتها السنوية.

3. التغذية الجمودية :

تظهر آثار التغذية الجمودية واضحة في فصل الصيف وذلك في الأحواض العليا من الأنهار والتي تبدأ منابعها من الجبال المرتفعة. حيث تأخذ الجموديات بالذوبان مما يؤدي الى زيادة تصريف الأنهار وارتفاع مستواها وحدوث الفيضانات. وتحدث هذه التغذية في الجبال العالية الغنية بالجموديات مثل جبال القفقاس والهيمالايا والألب والبامير.

4. التغذية المختلطة :

وهي أكثر أنواع التغذية شيوعا، حيث تشارك جميع أنواع التغذية في تزويد الأنهار بالمياه. وينطبق هذا على الأنهار الكبيرة التي تبدأ من الجبال العالية قاطعة أقدام الجبال والهضاب والسهول حتى تصل الى مصباتها.

5. التغذية الاصطناعية :

وتتم هذه التغذية عن طريق الانسان الذي يعمل على تحويل جزء من مياه النهر الى نهر آخر لأي غرض من الأغراض سواء كان ذلك من أجل الري أو الشرب أو الملاحة النهرية واقامة السدود.

6. تغذية الأنهار بواسطة البحيرات والمستنقعات :

تشارك المستنقعات بتغذية الأنهار خاصة تلك التي تتميز بغناها المائي مثل منابع نهر الفولغا. وقد تكون البحيرات مصدرا أساسيا لتغذية الأنهار كما

هو الحال في البحيرات الكبرى الافريقية الاستوائية التي تغذي نهر النيل وبحيرة بايكال التي تغذي نهر انغارا.

7. تغذية الأنهار بواسطة المياه الجوفية :

تعتبر المياه الجوفية مصدرا مهما ودائما لتغذية الأنهار بالمياه حيث تعتمد التغذية الجوفية على مستوى الماء الجوفي، اذ تزداد التغذية بارتفاع مستوى الماء الجوفي وتقل التغذية بانخفاضه، وساهم الماء الجوفي في استمرار الجريان. ويدعى التصريف المائي الذي يعتمد على الماء الجوفي بتصريف الأساس Base flow.

وبناء على ذلك يمكن تقسيم الأنهار حسب مصادر تغذيتها الى ما يلي:

1. النوع الأول "A" وهي الأنهار التي تكون مصدر تغذيتها الرئيسية ذوبان الثلوج في السهول والمرتفعات حتى 1000 متر فوق مستوى سطح البحر. ويتمثل ذلك في أنهار سيبيريا وشمال أمريكا الشمالية .
2. النوع الثاني "B" وهي الأنهار التي يكون مصدر تغذيتها الرئيسي من ذوبان الثلوج الساقطة على المرتفعات العالية، وهذا نوع نادر ويتمثل في أنهار آسيا الوسطى.
3. النوع الثالث "C" وهي الأنهار التي يكون مصدر تغذيتها الرئيسي من الأمطار الصيفية، ولهذا نجد أن قمة التصريف المائي هي في فترة الصيف، وينطبق هذا على الأنهار التي تتغذى من الأمطار الموسمية والمدارية مثل انهار الكونغو والاورينوكو.

4. النوع الرابع "D" وهي الأنهار التي تتغذى بصورة رئيسية من ذوبان الثلوج خلال فصل الربيع أو بداية فصل الصيف، بالاضافة الى مياه الأمطار، وينتشر هذا النوع في المناطق التي تتميز بشتاء بارد ومثلج، وهنا نلاحظ حدوث الفيضانات الربيعية. لأن قمة التصريف تكون في فصل الربيع، وتنخفض نسبة التصريف في أواخر فصل الصيف والخريف. مثل أنهار السويد وألمانيا وشمال الولايات المتحدة الأمريكية والسهل الروسي ودجلة والفرات.

5. النوع الخامس "E" وهي الأنهار التي تتغذى بصورة رئيسية من مياه الأنهار التي تسقط خلال الأشهر الباردة وأشهر الصيف، ولكن تزيد نسبة التصريف الشتوي عن التصريف الصيفي، مثل أنهار وسط وغرب أوروبا ويمثلها نهري السين والتايمز.

6. النوع السادس "F" وهي الأنهار التي تتغذى على مياه الأمطار الشتوية والصيفية والتي تتميز بغزارتها خلال الفصل البارد بالمقارنة مع كمياتها في فصل الصيف. ويمثل هذا النوع أنهار جنوب أوروبا وشمال أفريقيا ومنطقة كاليفورنيا ومنطقة تشيلي وجنوب استراليا.

7. النوع السابع "G" ويمثل هذا النوع انعدام الجريان في الأودية وذلك نتيجة جفاف المناخ ومنها أودية صحراء الجزيرة العربية وبادية الشام والصحراء الكبرى الافريقية وصحراء قرة قوم وقزل قوم في آسيا الوسطى.

السرير النهري : River bed

تعني كلمة سرير نهري المنطقة السفلي للوادي المغطاة بشكل دائم أو مؤقت بالماء، والتي تقع على تركيب جيولوجي صلب. ويتحكم شكل التيار المائي بالسرير النهري ويحدد اتجاه جريان الماء. والتيار المائي هو الذي يشق طريقه بنفسه وهو الذي يطوع المجرى حسب قوانين حركته، وتحدد العوامل الهيدروطبغرافية للسرير النهري للمقطع العرضي للسرير النهري من خلال المقطع العرضي، والمقطع الطولي والشكل الأفقي. ومن ناحية حركة الماء والتيارات المائية فان تعرج جوانب الأنهار والتواتها هي من العناصر الهيدروليكية التي تكمل صفات السرير النهري الطبيعية.

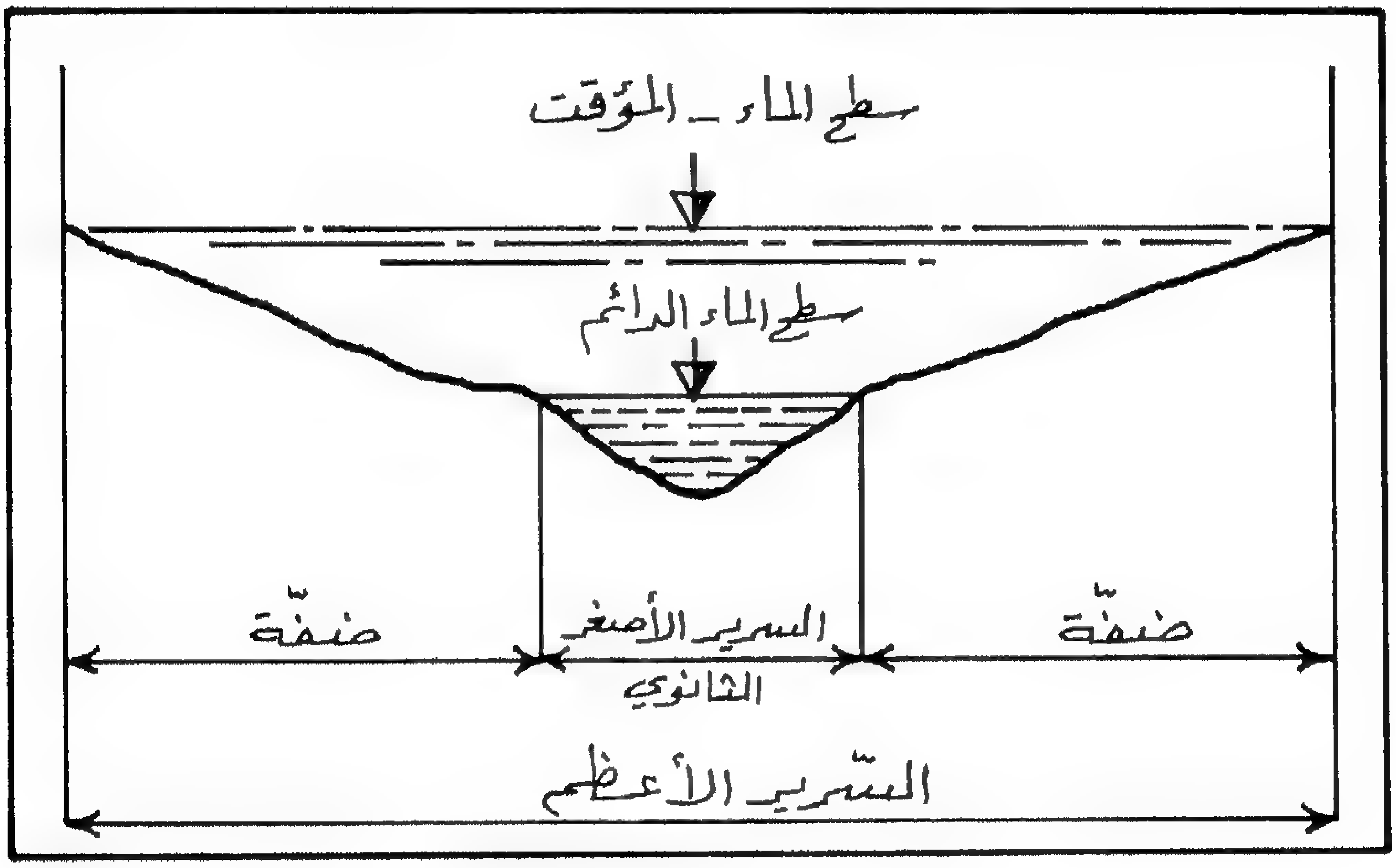
المقطع العرضي للسرير النهري :

يتغير شكل المقطع العرضي للسرير النهري، ففي حين يكون شكل المقطع العرضي للسرير النهري مستطيل **rectangle**، يمكن أن يكون المقطع على شكل معين **Trapezium** أو يأخذ شكل القطع المكافئ **Parabola**، أو من اشتراك هذه الأشكال مع بعضها.

بشكل عام فان المقطع غالبا ما يكون غير منتظم لأنه يتكون من جهة عميقة وتسمى بالسرير الثانوي **Minor** ومناطق جانبية تغطيها المياه فقط في فترات معينة من السنة. وتسمى المناطق الجانبية الكبيرة الاتساع بجوانب النهر، وتكون جوانب النهر واسعة بقدر ما يكون التصريف المائي كبيرا. ويحدد السرير الأصغر للنهر الدائم الجريان بالقناة التي تغطيها المياه بشكل دائم طوال

العام، أما السرير الأعظم للمجرى النهري فهو القناة التي تغطيها المياه بشكل مؤقت (في أوقات الفيضان). ويعتمد ذلك على التركيب الجيولوجي. ولذلك فان شكلها يختلف من القائم وحتى المائل بدرجة 1: 5.

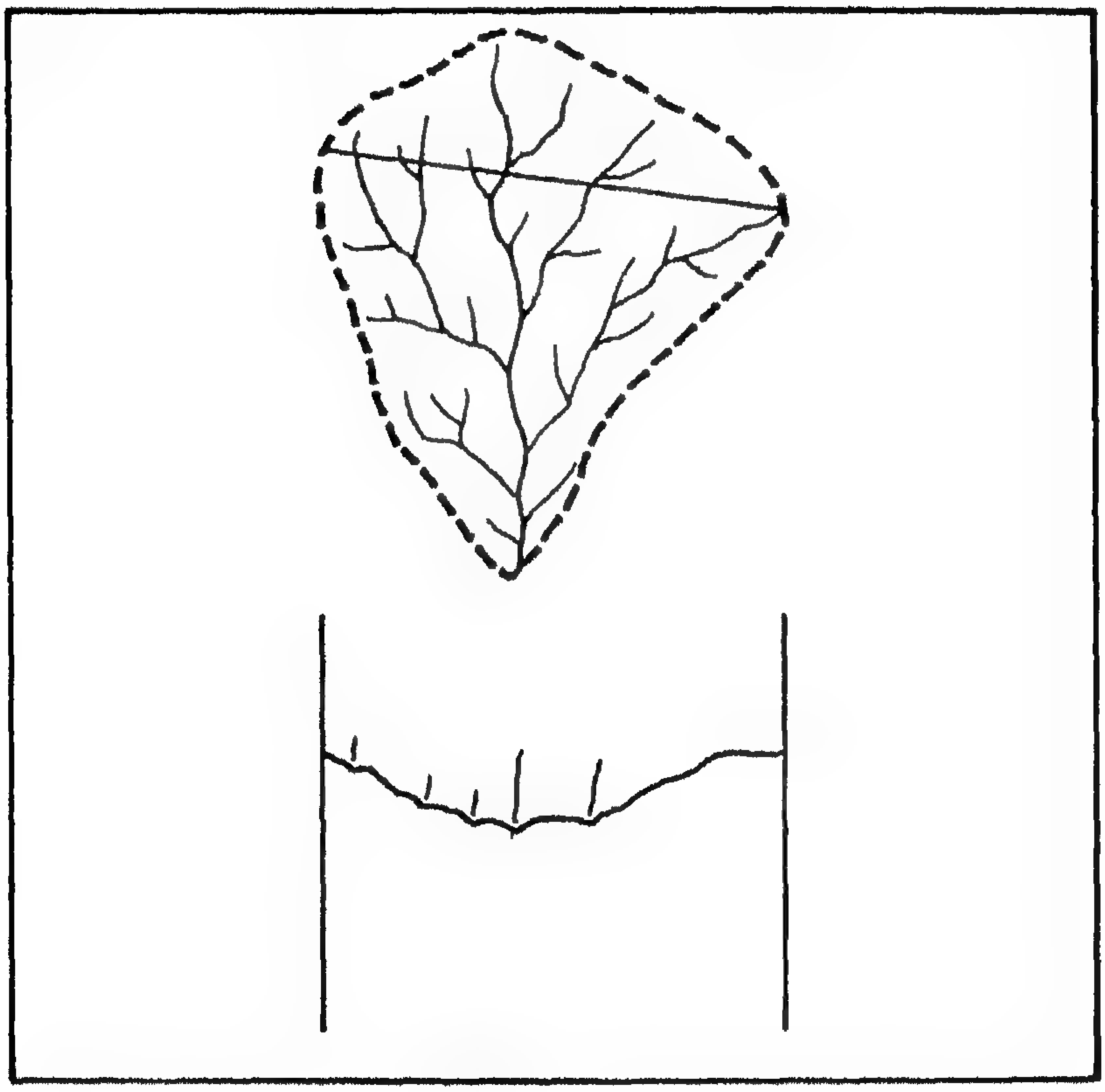
هناك عوامل أخرى تؤثر على السرير النهري الصغير، وهي الطمي الذي يؤدي الى ارتفاع قاع السرير أو قلة عمق السرير النهري. والانجراف الذي يؤدي الى زيادة عمق السرير النهري الأصغر، كما يزداد اتساع السرير النهري بشكل كبير أو صغير بسبب كثرة أو قلة حدوث الفيضان (شكل 5).



شكل (5) المقطع العرضي للسرير النهري

المقطع العرضي للحوض النهري :

يتكون المقطع العرضي للحوض النهري من خط يصل بين نقطتين تقعان على طرفي الحوض النهري أو على أقصى نقطتين تقعان على خــط تقسيم المياه للحوض النهري (شكل 6).



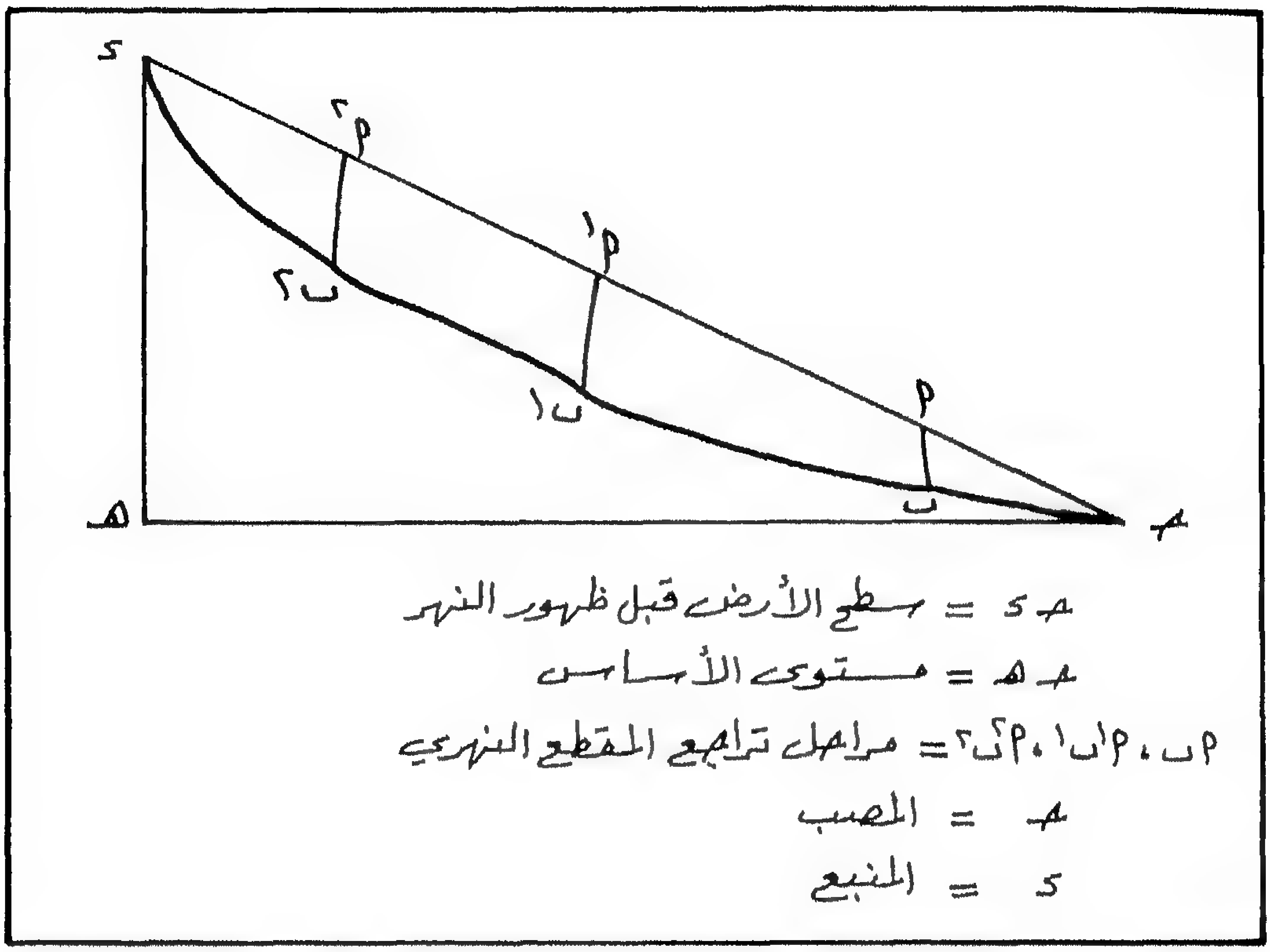
شكل (6) المقطع العرضي للحوض النهري

ويمكننا رسم ثلاث مقاطع عرضية للحوض النـهري الأول يمثـل المقطـع العرضي للحـوض الأعلـى، والثـاني يمثـل المقطـع العرضـي للحـوض الأوسـط، والثالث يمثل الحوض الأدنى للحوض النهري.

ويمكننا أن نرسم عددا كبـيرا مـن المقـاطع العرضيـة للحـوض النـهري، كما يمكن أن نرسم مقاطع عرضية فرعية لروافد الشبكة المائية اما منفصلة وامـا ضـمن المقطع العرضي الكبير.

المقطع الطولي للنهر :

يعتمد المقطع الطولي للنهر على طبيعة الصخور التي تحفـر فيـها الأنـهار مجراها وانحدار السفح الذي تجري عليه المياه، كما تلعب غزارة التصريف المـائي للنهر دورا هامـا في تشكيـل المقطـع الطـولي للنـهر. وتعمـل ميـاه الأنـهار أثنـاء جريانها على نحت المناطق المرتفعة من الحوض وخـاصة عملية الحت الصـاعدة. وتستمر هذه العملية حتى يتحقق التـوازن مـا بـين قـوة الحفـر والحـت الرأسـي وعمليات الترسيب، ويبدأ النهر في نحت مقطعه الطولي ابتداء مـن المصـب وهـو مستوى الأساس للنهر ثم يتابع النحت تراجعه نحو الأعلـى بعيـدا عـن المصـب، وهذا يعني أن عملية النحت تسير باتجاه معاكس لجريـان الميـاه في النـهر (شكـل 7).



شكل (7) تراجع المقطع الطولي للنهر

ويلاحظ من الشكل أن مقطع الاتزان النهري الطولي يبدأ من نقطة (د) عند المصب أو مستوى الأساس، ثم يبدأ بالارتفاع نحو الأعلى ويتقدم مستوى الأساس بالتدريج الى (ب) ثم الى (ب1) ثم الى (ب2). ويتناقص انحدار المقطع الطولي كلما تقدمنا نحو المصب كما في الشكل السابق.

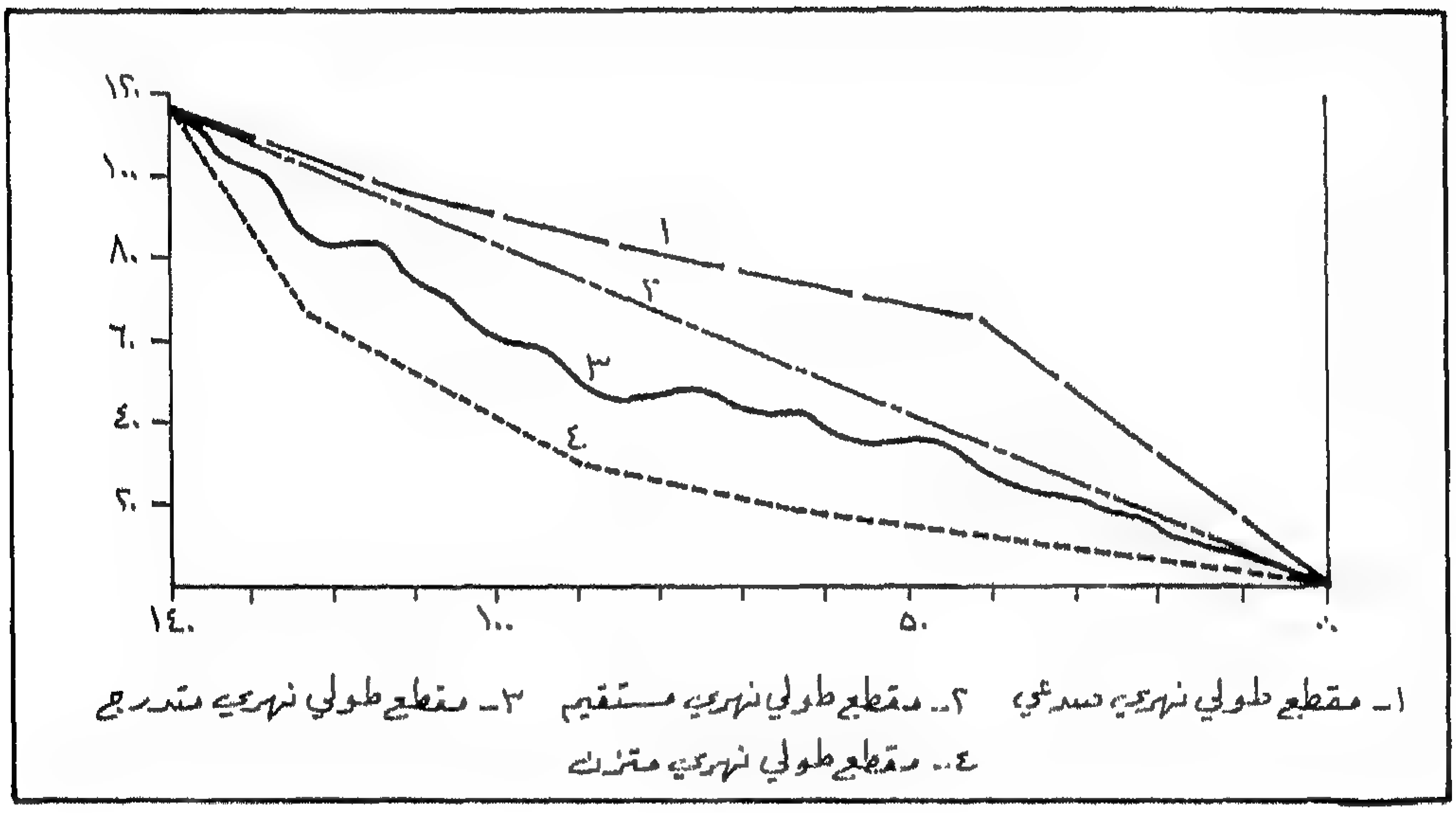
وسبب ذلك هو اقتراب المقطع الطولي للنهر من شكل مقطع الاتزان. ويقسم المقطع الطولي للمجرى النهري الى ثلاثة أقسام هي :

1. المجرى الأعلى وتزداد فيه شدة الحت.
2. المجرى الأوسط وتتم فيه عمليات الحت والترسيب معا.
3. المجرى الأدنى وتسيطر فيه عمليات الارساب.

نتيجة اختلاف الظروف الطبيعية في مختلف أنحاء العالم فاننا نجد تنوعا في المقاطع الطولية للأنهار على النحو التالي :

1. مقطع الاتزان الطولي: وهو أكثر المقاطع الطولية انتشارا على سطح الأرض، ويعتبر المقطع المثالي للأنهار لأنه يمثل المقاطع الطولية للأنهار في مرحلة الشيخوخة (الشكل 8).
2. المقطع الطولي المباشر : وهو نوع نادر من المقاطع الطولية للأنهار ويوجد فقط في المناطق السهلية وتكون عادة أنهارا صغيرة. (شكل 8).
3. المقطع الطولي الصدعي : وهو نوع قليل الانتشار، ويحدث فقط في الأنهار الصغيرة ويكون انحدار المقطع قليلا في المجرى الأعلى وشديدا في المجرى الأسفل من المجرى النهري. (شكل 8).

4. المقطع المتدرج : يتكون هذا المقطع الطولي بسبب وجود طبقات صخرية متفاوتة الصلابة على طول مجرى النهر، أو بسبب وجود منخفضات بحيرية ضمن المجرى كما في الشكل 8.



شكل (8) المقاطع الطولية لتطور النهر

الفصل الثاني

التساقط Precipitation

التساقط هو مصدر جميع المياه العذبة على سطح الأرض، سواء أكان هذا التساقط على شكل أمطار أو برد أو ثلج، ويمكن القول أيضا بأن كل أنواع الجريان السطحي ناجمة بشكل مباشر أو غير مباشر عن التساقط. لذلك تعد دراسة التساقط أساس الدراسات الهيدرولوجية رغم انها من صلب تخصص علماء المتيرولوجيا والمناخ. وسنعالج في هذا الفصل القضايا التي لها صلة مباشرة بالهيدرولوجيا باعتبار أن القارئ له إلمام مسبق بالمفاهيم المناخية والمترولوجية المتعلقة بالتساقط.

ومن الجدير ذكره بأن كمية الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي تساوي فقط 0.001٪ من مجمل المياه الداخلة في دورة الغلاف المائي، وأن هذه الكمية المتواضعة نسبيا يعود اليها جميع أنواع التساقط على سطح الأرض. ويقدر بعض العلماء بأنه لو أتيح لجميع بخار الماء الموجود في الجو ان يسقط على شكل أمطار في نفس الوقت، فان معدل التساقط على جميع انحاء الأرض يصل الى (25) ملم تقريبا.

ويتميز أشكال التساقط بالتباين الزماني والمكاني، وتعد دراسة هذا التباين احدى اهتمامات علماء الهيدرولوجيا. حيث يهتم الهيدرولوجي بمعرفة

متى تسقط الأمطار وما كميتها وكيف تتوزع، وكيف نقيس كميتها، وكيف يتم تحليل هذه الاختلافات.

أنواع التساقط Types of Precipitation :

يمكن أن نصف أنواع التساقط بناء على أساس شكل التساقط أو بناء على اصل هذا التساقط.

أولا : تصنيف التساقط بناء على أشكاله :

فمن التساقط ما يكون بحالة السيولة ومنها ما يكون صلبا. فالمطر **rain** والرذاذ **drizzle** والندى **dew** تدخل مباشرة بدورة الماء بينما يؤجل دخول الأشكال الصلبة مثل الثلج **snow** والصقيع **Frost** والجليد **glaze** بدورة الماء حتى تصبح درجة الحرارة مناسبة لذلك. أما البرد فرغم صلابته الا ان ظروف تشكله تجعله يدخل مباشرة بالدورة كما هو الحال بزخات المطر الغزيرة.

ثانيا : تصنيف التساقط بناء على أصولها :

حتى يتم التساقط يجب تضافر عاملين رئيسيين هما : توفر كمية مناسبة من الرطوبة وتوفر ظروف مناسبة ترفع الكتل الهوائية التي تحمل تلك الكميات من الرطوبة الى أعلى بقدر يكفي لتكاثف بخار الماء الموجود ومن ثم حدوث التساقط أن وجود الرطوبة في الهواء الموجود فوق اليابسة يعود الى تحرك الهواء بموازاة سطح الأرض لعدة مئات من الكيلومترات أو مرورها فوق مسطحات مائية شاسعة كالبحار والمحيطات، وقد ترتفع الكتل الهوائية بفعل اصطدامها بعوائق طبغرافية أو بواسطة اصطدامها بكتل أبرد منها، أو يكون صعودها ناجم

عن عملية التسخين كما هو الحال بالأمطار الانقلابية. وليس من المفروض أن يحصل التساقط من أحد هذه الأنواع بمعزل عن الآخر، فقد تتضافر عملية التصعيد الناجمة عن التضاريس مع عملية التصعيد الناجمة عن التقاء كتل هوائية متباينة الحرارة.

تباين التساقط Variations of Precipitation

من الأمور الرئيسية التي يهتم بها علماء الهيدرولوجيا تباين التساقط مكانيا وتباينه زمانيا. بحيث يندر أن يتساوى موقعين بمقدار الأمطار التي تسقط عليها بنفس الوقت، كما يندر أن يتساوى التساقط بموقع معين بنفس الوقت وبنفس الموعد خلال سنوات مختلفة. فمن النادر على سبيل المثال أن تتساوى كمية التساقط على محطة مطار عمان المدني الساعة الواحدة ظهرا في اليوم الثالث من كانون أول عام 1991 مع نفس الكمية التي يمكن أن تسقط بنفس الموعد عام 1992.

فمعدل سقوط الأمطار السنوي الافتراضي على مختلف بقاع الأرض يصل الى 700 ملم (280 بوصة) تقريبا، ولكن في حقيقة الأمر قد تمضي عدة سنوات دون أن تهطل أمطار تذكر على بعض المناطق الصحراوية، في حين يزيد معدل التساقط السنوي في بعض المناطق عن 1000 ملم كما في جبل Waialeale بجزر هاواي التي يصل معدل التساقط السنوي فيها الى 1200 ملم (480 بوصة).

ويعتمد تباين التساقط مكانيا على معدلات التبخر وعلى نمط مسار الكتل الهوائية. حيث يتخذ نمط توزع الأمطار على سطح الكرة الأرضية أنماطا شريطية عرضية. ونظرا لكون البحار والمحيطات هي المصدر الرئيسي للبخار

الموجود في الجو، فان المناطق البعيدة عن الساحل تتصف بقلة التساقط مقارنة بالمناطق المناظرة لها على السواحل، وتلعب الرياح الدائمة دورا معدلا، يحد من أثر البعد عن السواحل في تقليل الأمطار، بحيث يتعدى تأثير البحار والمحيطات في التساقط المناطق الساحلية لها، ويمكن أن ينسحب هذا القول على الرياح العكسية التي تهب على اقليم السواحل الغربية في أوروبا، حيث يتعدى تأثيرها المناطق الساحلية لقارة أوروبا.

ويغلب على التساقط في مختلف رقاع المعمورة النمط الفصلي، بحيث ينتظم التساقط وفق أنماط فصلية يمكن التكهن بوقت حدوثه وبكميته وفق بيانات تدل على كميات التساقط في سنوات سالفة، ويهتم الهيدرولوجي بهذا الأمر اهتماما كبيرا وذلك لرسم السياسات المائية التي تمليها ظروف التساقط.

ويمكن دراسة التبيان الزماني للتساقط وفق المفاهيم التالية :

1. التباينات الدورية Cyclic Variations

جرت العديد من المحاولات للكشف عن امكانية وجود دورات منتظمة للتساقط من خلال دراسة كميات التساقط السنوية. وتعتبر مثل هذه القضايا ضرورية جدا في مجال الدراسات البيئية وبخاصة الفيضانات، ولتحديد مقدار المياه التي يمكن أن تكون متوفرة في سنة ما، ويمكن أن تفيد أيضا في تحديد أماكن اقامة المنشآت والمساكن قرب مجاري الأودية والأنهار الرئيسية، وتتطلب مثل تلك الدراسات معلومات دقيقة ولفترة طويلة يفضل أن لا تقل عن 30 سنة متواصلة. وقد تمت ملاحظة عدة دورات تتباين في مدتها، فمنها ما يصل طولها عشر سنوات ومنها ما يصل الى 35 سنة.

2. التغيرات الطويلة المدى: Secular Variations

لم يوفق العلماء في تحديد دورة ثابتة للتساقط. ولكن بعض الدراسات الحديثة استطاعت التوصل الى قناعة بأن تباين التساقط يرجع سببه مباشرة الى تضافر بعض العوامل الجغرافية مع بعض العوامل المناخية. حيث اتضح أن هناك دورة عامة شبه منتظمة للدورة العامة للغلاف الجوي تنعكس بالتأكيد على نطاق التساقط العالمي.

3. التباينات الفصلية Seasonal Variations

يظهر النمط العام لنظام التساقط في معظم مناطق العالم، نمطا شبه ثابت، بحيث تتساقط الأمطار في موسم ما وتحجب عن التساقط في موسم آخر. وقد درج على تسمية هذه المواسم بالفصول. وتتأثر هذه الفصلية بنظام الغلاف الجوي الذي يتأثر كثيرا بالحركة الكونية للنظام الشمسي وبخاصة علاقة الأرض بالشمس.

التباينات اليومية : Diurnal Variations

تحدث بعض التباينات اليومية لتساقط الأمطار في بقاع محددة من سطح الأرض. وتعود هذه الاختلافات الى اختلاف درجة الحرارة بين ساعات النهار، والتي تعد الأساس في حدوث الأمطار الانقلابية وبخاصة في المنطقة الاستوائية. حيث تسقط الأمطار الرعدية يوميا بعد الظهر او مع بدايات المساء.

وبشكل عام نستطيع القول بأن امكانية نجاح توقعنا لتحديد كمية الأمطار المتساقطة تزداد في حالتين هما :

1. عند زيادة الفترة الزمنية. أي أن توقعنا لكمية التساقط للسنة يكون أفضل من توقعنا للتساقط على مستوى الفصل والشهر، كما أن توقعنا لكمية التساقط في شهر تفوق ذلك التوقع ليوم .... وهكذا.

2. في المناطق ذات الأمطار الوفيرة يكون التباين قليلا من سنة الى أخرى ومن فصل الى آخر بينما يكون ذلك التباين أكبر في المناطق التي لا تتمتع بتساقط وفير.

كثافة الأمطار : Rainfall intensity

من الأمور التي تهم علماء الهيدرولوجيا كثافة التساقط على مستوى العاصفة المطرية، ومدى استمرارية كثافة التساقط ضمن نفس العاصفة. حيث يتأثر الجريان السطحي وبخاصة تحديد ذروة الجريان النهري بتحديد كثافة التساقط وديمومته. وكلما قلت الفترة الزمنية التي يحدد خلالها كثافة التساقط يكون أفضل. فلو عرفنا كثافة التساقط لكل ساعة أو أجزاء الساعة خلال العاصفة المطرية أفضل من معرفتنا بتلك الكثافة خلال العاصفة بشكل عام أو خلال يوم واحد منها. ويعبر عن هذا الأمر عادة بما يسمى بمنحنى كثافة التساقط Intensity - duration curve وقد نعبر عن ذلك بطريقة أخرى بما يسمى بـ depth - duration curve، ويحدد فيها نسبة التساقط في ساعة ما خلال العاصفة الى مجموع التساقط الناجم عن نفس العاصفة. ويمكن استخدام منحنيات أخرى لتعبر عن كثافة التساقط مثل rainfall intensity frequency graph حيث تبين هذه المنحنيات نسبة تكرار كثافة التساقط لمحطة ما ولعاصفة معينة.

قياس التساقط : Measurement of precipitation

الفكرة الرئيسية من خلال قياس كميات التساقط هو للتعبير عن سمك المياه التي تغلف المنطقة بفعل العاصفة المطرية. ويعد التساقط أول عناصر الطقس التي تولاها المهتمون بالقياس. ويقدر البعض بأن بداية قياس الأمطار كانت في القرن الرابع الميلادي في شبه القارة الهندية. ولكن القياس الحقيقي المؤكد للأمطار عرف منذ عام 1639 في ايطاليا، وفي بريطانيا بدأ القياس عام 1677.

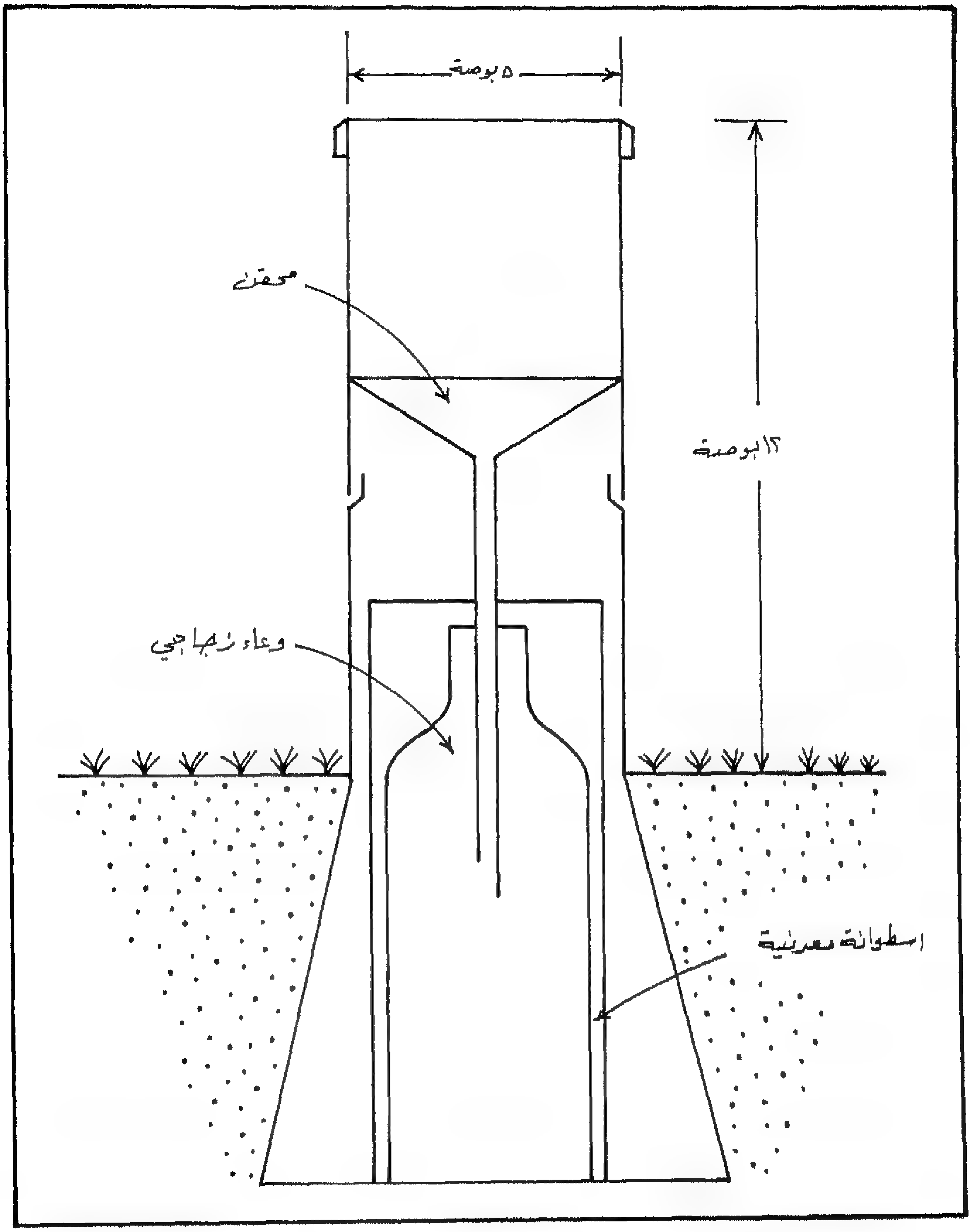
أنواع مقاييس التساقط Types of raingauge

تصنف مقاييس الأمطار ضمن مجموعتين رئيسيتين هما :

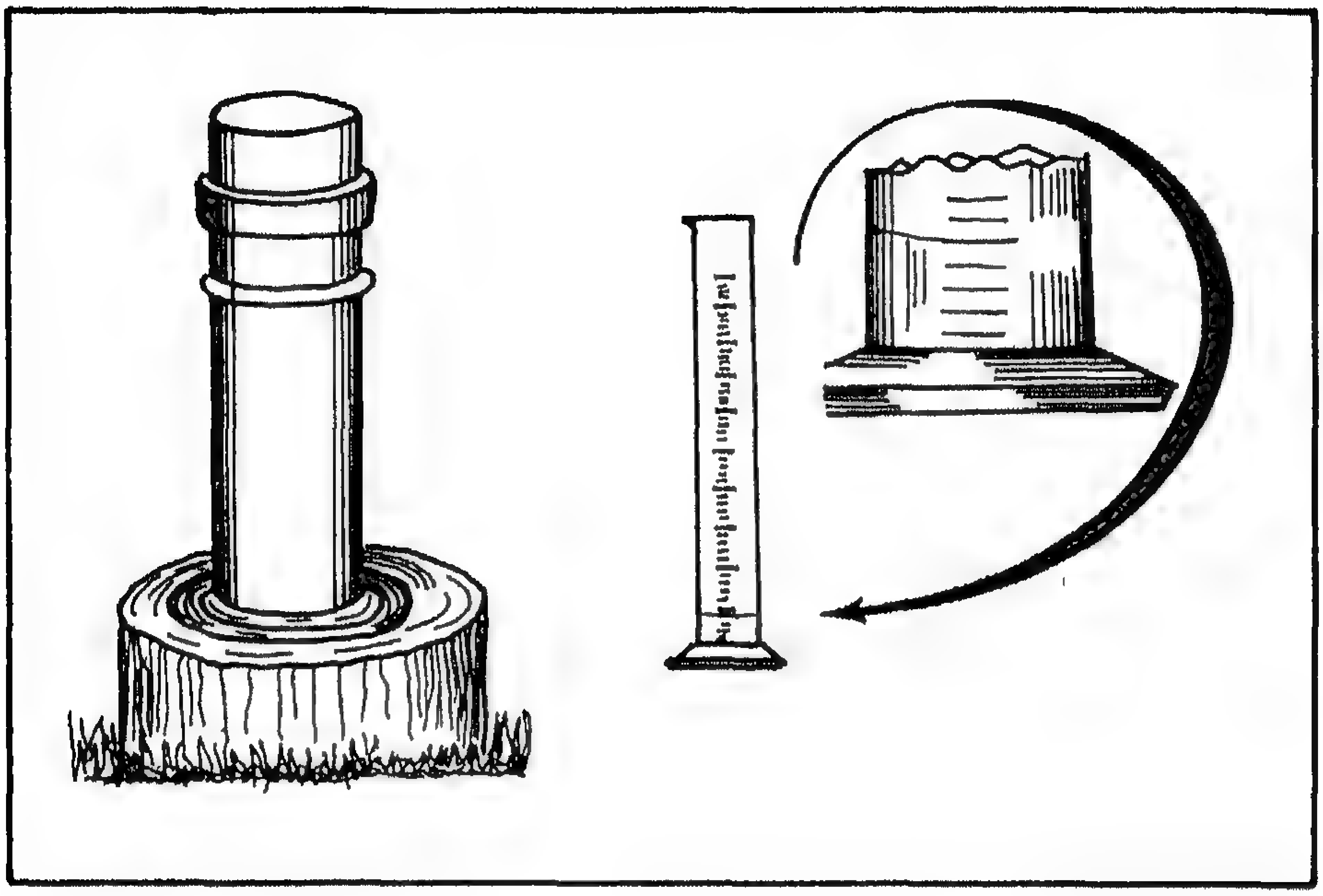
1. مقياس التساقط غير المسجل / العادي : Non-recording gauges

وهو عبارة عن جهاز بسيط، يتكون من اسطوانة بلاستيكية او معدنية طولها 580ملم وقطر فوهتها 200ملم، وترتبط الفوهة بقمع يوصل الأمطار الى اسطوانة داخلية قطرها 20ملم تكون غالبا مدرجة تدل على كمية الأمطار الساقطة في المنطقة. وقد لا تكون مدرجة، بحيث يتم قياس الكمية بواسطة المخبار المدرج، ويتميز هذا النوع ببساطته، ولكنه لا يعطي فكرة واضحة عن كثافة الأمطار (الغزارة) أو ديمومتها ولا يعطي فكرة تامة عن المسار العام للتساقط خلال فترة زمنية محدودة. الا انه يمكن قياس كمية الأمطار المتجمعة به في أي وقت يشاء الراصد ذلك (شكل 9–أ).

ويتفاوت شكل المقياس من دولة الى اخرى. فهناك النموذج البريطاني (Mark II) (شكل ٩ –ب). والنموذج الكندي (شكل 10).



شكل (9) جهاز قياس المطر (5 بوصة) النموذج البريطاني

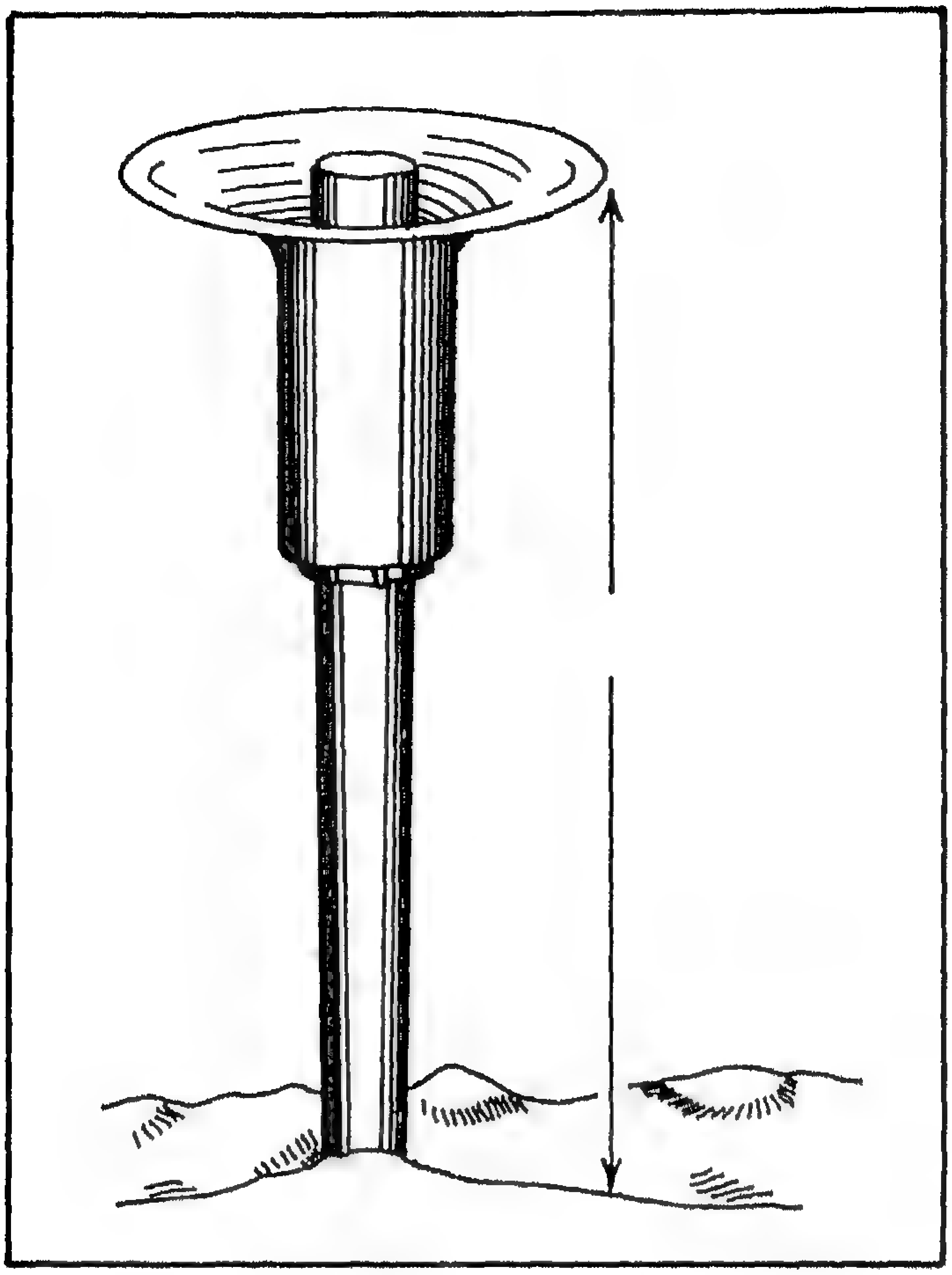


شكل (10) النموذج الكندي لقياس الأمطار

وجميعها تتبع نفس الأساس. حيث تغلف الاسطوانه المعدنية او البلاستيكية اسطوانة أخرى مدرجة مصنوعة من الزجاج أو البلاستيك. ولكن هناك اختلاف في كيفية تثبيت هذه الأجهزة على الأرض. فبعضها تدفن قاعدته في الأرض، والآخر يرتفع على قائم، وبعضها كالنموذج الكندي يستند على قاعدة ترتفع عن الأرض كما هو واضح في الشكل (10).

ولزيادة كفاءة هذه المقاييس وبخاصة في المناطق النائية، فان الاسطوانة الداخلية تكون من الكبر بحيث تكفي لتساقط كمية كبيرة من الأمطار، ويضيف الراصد أحيانا بعض الزيوت على الاسطوانة الداخلية في المقاييس التي تقع في مناطق نائية، ويتعذر قياسها يوميا، وذلك لخفض كمية التبخر من الكميات التي استقرت داخل ذلك الأنبوب، وتسمى هذه الأجهزة Storage or totlizer Gauges.

توجد مقاييس مخصصة لتقدير كمية الأمطار الناجمة عن تساقط الثلج. وتشبه الى حد بعيد تلك المقاييس سالفة الذكر، الا انها لا تحتوي على قمع، بحيث تهوي الثلوج من الفوهة الى القاع ثم تذوب بعد حين، وتثبت هذه المقاييس على قائم قابل لرفعه أو تنزيله وذلك حسب تراكم الثلوج (شكل 11). ويتبع الراصدين الجويين في كندا لتقدير كمية التساقط بفعل الثلوج من خلال قياس سمك الثلوج بواسطة المسطرة، بحيث يقسم السمك على 10، ويكون الناتج هو كمية الأمطار الساقطة وقد لا تعد هذه الطريقة فعالة في جميع الحالات بسبب تفاوت هشاشة الثلج من مكان الى آخر ومن وقت الى آخر.

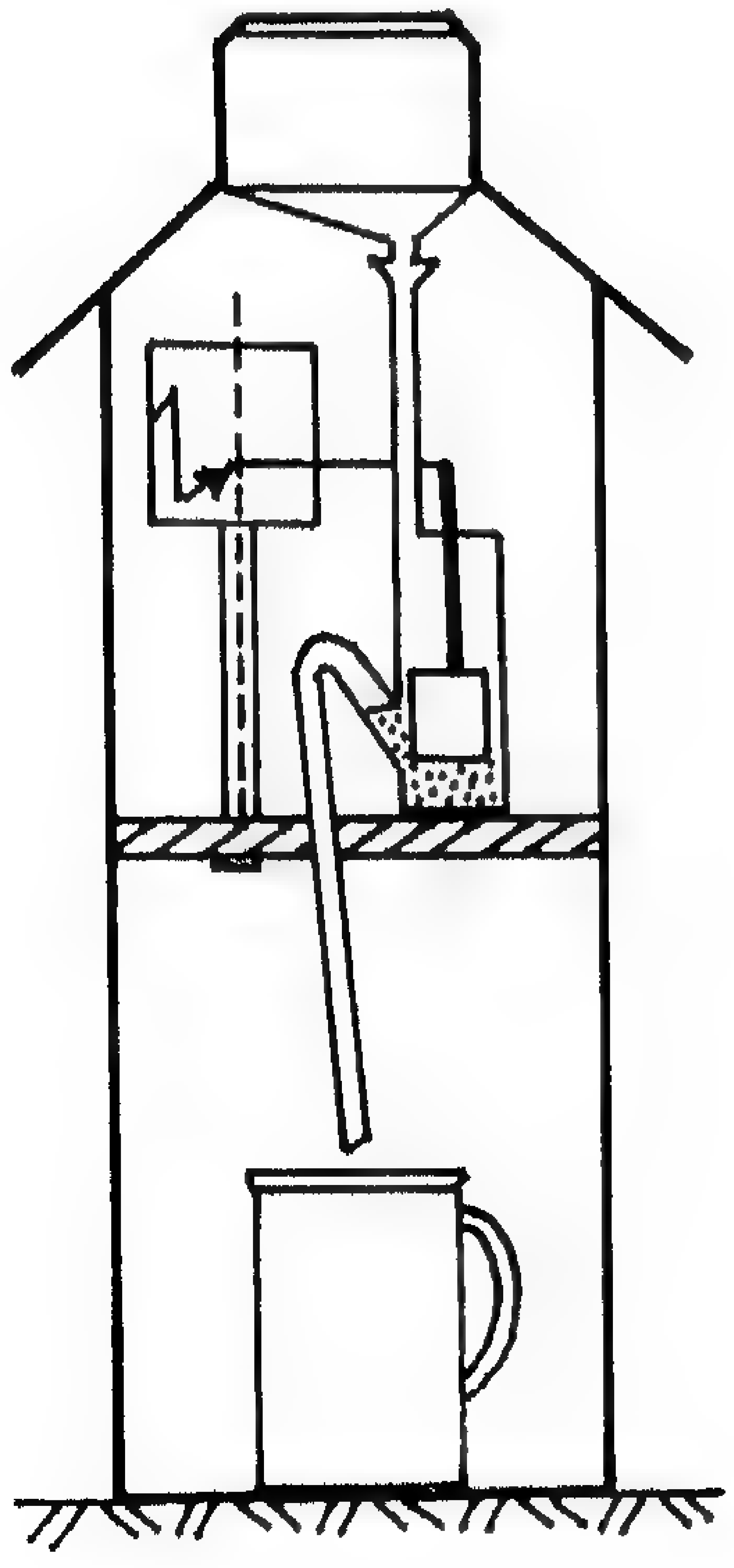


شكل (11) جهاز نيفر لقياس الثلج

2. أجهزة قياس المطر الآلية : Recording precipitation Gauges

رغم تعدد المقاييس الآلية وتنوعـها الا انـها تقـوم علـى أسـس واحـدة. فمنها ما يعبر عن كمية التساقط باختلاف الوزن، الذي يدل عليه مؤشر خـاص يسجل ذلك على ورقة رسم بياني ملفوفة حول اسطوانة تدور باسـتمرار. وقـد تغير هذه الورقة يوميا أو أسبوعيا وقد يصل الأمر الى شهر، بحيث أن كمية المياه الداخلة في الجهاز يمكن صرفها أو جمعها بوعـاء كبـير، قـد يستفاد منـها لأمور

خاصة. وبعضها يعبر عن كمية التساقط بارتفاع وانخفاض عوامة تطفو فوق المياه التي تتجمع داخل مستودع محدود السعة Floot - type Gauges، يمكنه التخلص من الكميات الزائدة، أما بصرفها خارج الجهاز او جمعها أيضا بمستودع أكبر. وترتبط العوامة بمؤشر، يحدد مسار تساقط الأمطار على ورقة رسم بيانية كما هو الحال في الجهاز السابق. وتعتمد بعض دوائر الأرصاد الجوية مقياس المطر ذو الدلاء Tipping buckets Gauge، الذي يتكون من دلوين صغيرين يتسع الواحد منهما لـ 0.25ملم من الأمطار. وكلما امتلأ دلو يبدأ الآخر بالامتلاء، بعد أن يبدأ الأول بتفريغ ما بحوزته، ويوجد مؤشر خاص يسجل على ورقة رسم بيانية دوارة عدد المرات التي تم تفريغ تلك الدلاء، وبعملية حسابية بسيطة نستطيع حساب كمية الأمطار الساقطة (شكل 12).



شكل (12) مقياس المطر ذو الدلاء

وتوجد بعض الأجهزة التي توافق بين هذه الأنواع الثلاث، وبامكانها ان تحول التسجيل مباشرة الى قيم رقمية تخزن مباشرة على أشرطة الحاسبات الالكترونية. وبعض هذه الأجهزة الذي يثبت بمواقع نائية مزود بأجهزة ارسال، تزود المحطات الرئيسية بمقدار كميات التساقط المسجلة مباشرة، وتعد هذه الطريقة ضرورية جدا في حساب كميات التساقط، وتقدير كمية الجريان السطحي، مما يفيد في تفادي أخطار الفيضانات في بعض المناطق المهددة بها.

استخدام الرادار في قياس / تقدير كمية التساقط :

رادارات الطقس من التقنيات الحديثة التي تقيس تباين كميات التساقط للعواصف المطرية زمانيا ومكانيا. حيث يقوم الرادار بارسال حزم من الاشعاعات الرادارية قصيرة الموجة بمعدل ألف نبضة **puls** في الثانية. ويتلقى الرادار بين النبضات الاشارات **singles** المنعكسة من الأهداف، وتمثل الأهداف في هذه الحالة قطرات المطر المتساقطة، ومن خلال معادلة خاصة يمكن حساب كميات الأمطار المتوقع هطولها على المنطقة. ويتراوح مدى تأثير بعض الرادارات ما بين 100–150 ميل من موقع النظام الراداري.

وقد دلت بعض الدراسات على ان استخدام الرادار يعاني من بعض الهنات التي لا تؤهله تماما ليكون مصدرا موثوقا به في قياس كميات التساقط بشكل دقيق. فقد تبين أن 30٪ من القياسات الرادارية تعادل 26٪ من القيم المقاسة بالطرق التقليدية على بعد يتراوح ما بين 19–60 ميل، وتهبط النسبة الى 15٪ في 25٪ من قراءات الرادار اذا تراوحت المسافة بين الرادار ومحطة القياس التقليدية ما بين 60–100ميل. ويعود السبب الرئيسي في هذا الاختلاف الى أن الموجات الرادارية تسير بخطوط قوسية يفوق تقوسها تقوس الأرض، بحيث لا تستطيع أحيانا هذه الموجات الاصطدام بقطرات المطر نظرا لانخفاض مستواها

عن سطح الأرض. لذلك فان المناطق المجاورة لمحطة الرادار يستطيع الرادار تقدير كمية التساقط فيها بمعدل يساوي تماما ما تقيسه أجهزة قياس المطر التقليدية.

ومع ذلك فان بعض الدول المتقدمة مثل بريطانيا وفرنسا تكاد أن تكون مغطاة بشبكة رصد رادارية تتيح للمتخصصين رصد العواصف المطرية، وتقدير كمية الأمطار المتوقع هطولها، وبذلك تعد هذه الطريقة فعالة في مجال الحد من خطر الفيضانات. اذ أن هذه الرادارات متصلة مع بعضها البعض وترتبط جميعها بمحطة رئيسية، تستطيع من خلال نماذج احصائية تقدير كمية التصريف المائي في الأودية والأنهار الرئيسية، كما أن هذه المحطة ترتبط بمراكز الدفاع المدني والأمن العام، وبمحطات الاذاعة والتلفزة، وبذلك تستطيع اعطاء صورة واضحة أولا بأول عن سير المنخفضات والأعاصير الجوية.

بعض المشكلات التي تعترض قياس المطر:

من الصعب القول بأن أية محطة مناخية تمثل تمثيلا حقيقيا المنطقة المقامة بها. فعناصر الطقس وبخاصة الأمطار هي أكثر عناصر الطقس تأثرا بالظروف الموضعية. فكلما كانت الأرض سهلية تكون المحطة المناخية أكثر تمثيلا. ويقل تمثيل المحطة للمنطقة المقامة فيها كلما زاد تضرس المنطقة، ولذلك ينصح باقامة أجهزة رصد مطرية بكثافة عالية في المناطق الجبلية الوعرة أكثر من المناطق السهلية.

ويتأثر مدى صدق القياسات المطرية بعوامل أخرى مثل ارتفاع جهاز القياس المطري، وضياع جزء من الأمطار في التبخر وفي تبليل الجهاز، وحدوث دوامات هوائية حول الجهاز، فضلا عن بعض الأخطاء التقنية في مكونات الجهاز نفسه.

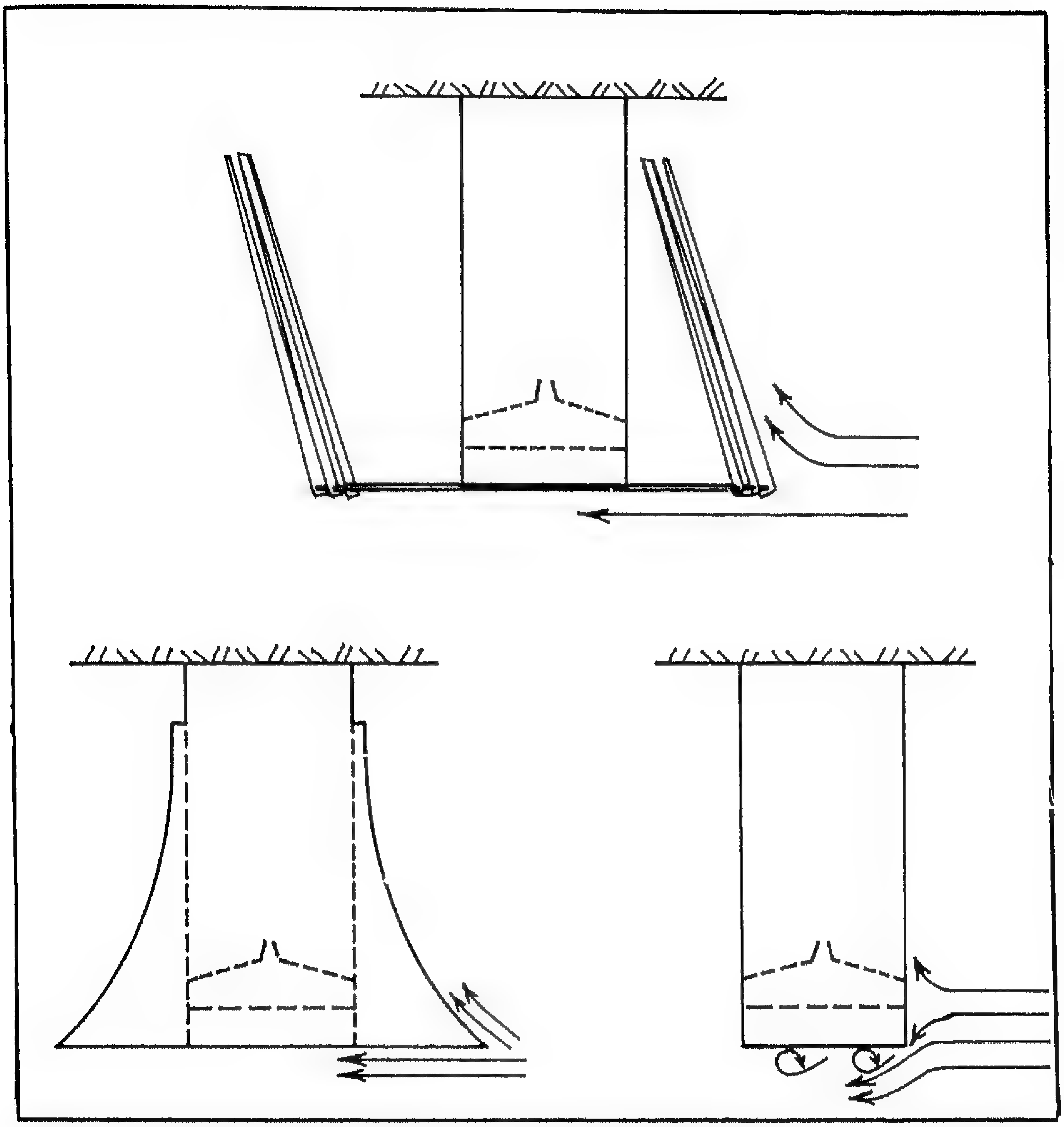
اضطراب الهواء وتطاير قطرات الماء : Turbulence and insplash

تمثل أجهزة رصد المطر عوائق أمام تدفق الرياح فوق سطح الأرض مما

يسبب اضطراب الرياح وحدوث دوامات هوائية حول جهاز الرصد، مما يمنع بعض قطرات الماء من الدخول الى الجهاز، ويتفاوت هذا التأثير بتفاوت سرعة الرياح، وارتفاع الجهاز عن سطح الأرض، فعندما تكون حافة فوهة الجهاز قريبة من سطح الأرض فان تطاير رذاذ الماء الناجم عن اصطدام قطرات المطر بالأرض قد يضيف كميات غير حقيقية الى قراءة الجهاز.

ولذلك يجب ضبط الارتفاع بحيث يكون تأثير هذين العاملين بأدنى حد لهما. وقد يضطر الهيدرولوجيون الى قياس كميات التساقط في بعض المناطق التي تتميز بارتفاع سرعة الرياح وكثرة الزوابع، وفي هذه الحالة من الصعب جدا قياس كمية التساقط بشكل دقيق، ولتفادي حصول الأخطاء في القياس يلجأون الى اقامة حاجز دائري حول جهاز القياس بارتفاع قدم واحد وبقطر يصل الى 10 قدم وسمك 6 بوصات، وينطبق هذا الأمر على الأجهزة التي تدفن في الأرض، وليس على الأجهزة القائمة على قواعد ترتفع عن سطح الأرض. ويلجأ المختصون بدراسة نظم التساقط في مناطق الغابات والأحراش الى تثبيت الأجهزة على ارتفاع يتراوح ما بين 20–30 قدم عن سطح الأرض، نظرا لما تسببه تيجان الأشجار في حجب مياه الأمطار من الوصول الى أجهزة القياس الأرضية. ومنعا او تقليلا من أثر الدوامية، فان الأجهزة تدفن في الأرض، وتبرز هنا مشكلة تطاير الرذاذ من سطح الأرض، وللتغلب على ذلك تحاط منطقة الأجهزة بطبقة من الحصى مغروس بينها شرائح معدنية مائلة ميلا لطيفا نحو الأجهزة المدفونة.

وتضاف أحيانا لاسطوانة جهاز القياس المطري واقيات تقلل من حصول الدوامات الهوائية التي تتشكل حول الفوهة أو فوقها (شكل 13).



شكل (13) حماية جهاز قياس المطر (أ) و (ب) و (جـ)

ويتبـع نموذجـين الأول يدعـى نــوع Nipher والثــاني نــوع Alter أو Tretyakov. ويتضح من خلال هـذا الشكـل بـأن الدوامـة بـأعلى الفوهـة قـد اختفت وان الرياح تنقسم الى جزئين، يتجه أحدهـا الى الأسـفل، والآخـر يسـير بخط مستقيم.

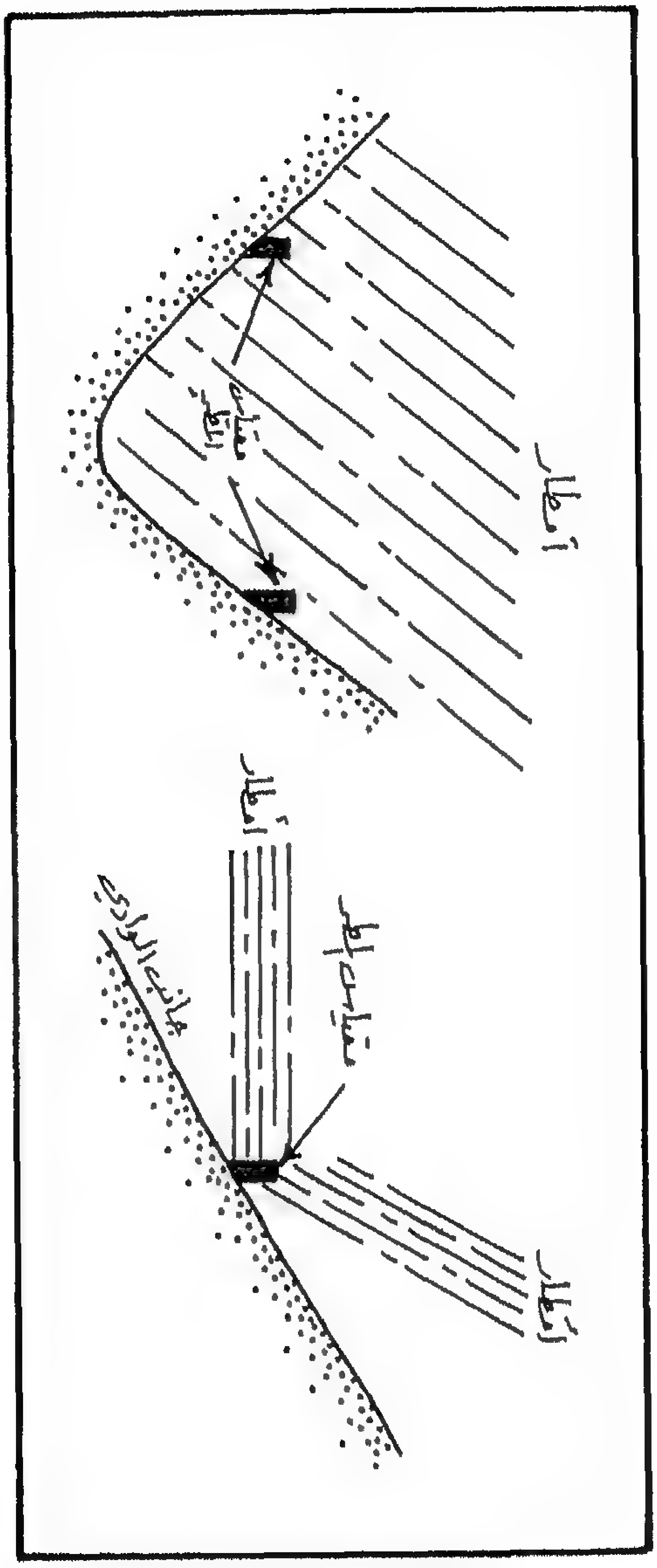
ما زالت بعض الدول تعتمد على ابقاء فوهـات أجـهزة القيـاس المطريـة بمستوى سطح الأرض. ورغم المحاولات المتكررة، والتجارب العديدة للتخفيـف من مشكلـة تطـاير رذاذ المـاء، إلا أن هـذه الطريقـة مـا زالـت تعـاني مـن هـذه المشكلة. الا أن الطريقة المشار اليها في الشكل (رقم 9) قـد أثبتـت جدارتـها في الحد بشكل كبير جدا من تطاير رذاد المـاء. وتتفـاوت ارتفاعـات الأجـهزة مـن دوله الى أخرى ففي بعـض الـدول لا يتعـدى ارتفـاع حافـة الجـهاز عـن سـطح الأرض الخمس بوصات، وبعض الدول الأخرى ترتفع الحافة الى 12 بوصة كما هو الحال في كنـدا، والى 31 بوصـة في كـل مـن اسـتراليا وبريطانيـا والولايـات المتحدة، والى 79 بوصة في روسيا. وقد أوصت بعض الدراسـات بـأن الارتفـاع الأمثل هو 15 بوصة.

وبناء عليه، يجب اقامة أجهزة قياس المطر بعيدة عن العـوارض البـارزة، وبعيدة أيضا عن الأشجار والمباني والأعشاب المحيطة بها يجب أن تكون قصيرة، ووضع أكثر من جهاز واحد في المحطة الواحد، كما انه يجب أن توضع الأجـهزة ضمن مناطق محمية لتخفض من سـرعة الريـاح. ويجـب أن تبتعـد الأجـهزة عـن العمارات مسافة تساوي أربعة أضعاف ارتفاع تلك العمارة.ويعاني أحيانا بعض الباحثين من اختلاف المعايير المستخدمة لقياس الأمطـار ضمـن الأحـواض المائيـة

التي تشترك فيها أكثر من دولة. ولحل هـذه المعضلـة وضعـت منظمـة الأرصـاد الجويـة معيـارا دوليـا International reference precipitation (IRPG) gauge بقطر يساوي 5 بوصات على أن تكون الفوهة بارتفاع 5 بوصـات مـن سطح الأرض، باستخدام واق من نوع Alter shield.

زاوية تثبيت أجهزة قياس التساقط Angle of gauge :

من العوامل التي تحد مـن صحـة بيانـات أجـهزة الرصـد المطـري، تلـك الزاوية المحصورة ما بين جهاز الرصد والخط العام للمنحـدر المثبـت عليـه ذلـك الجهاز. ففي الشكل رقم (14) يبدو من الرسم (A) أن الجهاز المثبت على الجهة اليسرى يتلقى كمية أكبر من الأمطار عما يصل الجهاز المثبت في الجهـة المقابلـة رغم تساوي الزاويتين المحصورتين بـين خـط المنحـدر والجـهاز. وفي الرسـم (B) تشكل الأمطار في الحالتين نفس الزاوية مع المنحدر الا أن الأمطـار الـتي تسـقط بشكل أفقي تقل فرص دخولها الى الجهاز عن تلك الأمطار الـتي تسـقط بشكـل قريب من العمودي رغم تساوي الزاويتين المشار اليهما آنفا (ما بين خط المطـر الساقط وبين خط المنحدر)، ويعود هذا الاختلاف الى اختلاف الزاوية المحصورة بين خط المطر الساقط وبين حافة الجـهاز، ولـو كـانت الأجـهزة مثبتـة بمسـتوى سطح الأرض المحلي لما حصلت هذه الفروق.



شكل (14) زاوية تثبيت أجهزة قياس المطر

شبكة الرصد المطري : Gauge network

يلعب الهدف من أية دراسة دورا كبيرا في تحديد عـدد المحطات المطرية في وحدة المساحة. فكلما كان عدد المحطات أكبر كلما كانت ممثلة للمنطقة بصورة أفضل. فلو افترضنا أن جهاز مطر فوهته تساوي 5 بوصات أقيم في مكان ما ليمثل مساحة تعادل 10 ميل مربع، فان مقدار التمثيل يساوي فقط: 1: 100.000.000. لذلك نجد أن بعض الدول تحاول زيادة كثافة شبكة الرصد المطري ما أمكن وبخاصة في المناطق المأهولة أو التي تتمتع بنشاط اقتصادي مميز. فعلى سبيل المثال كانت عـدد المحطات المطرية في نهاية الستينات في بريطانيا 6000 محطة، بمعدل يصل الى محطة واحدة لكل 15 ميل^2، بينما يصل المعدل في ذلك الوقت في الولايات المتحدة الى 230 ميل^2. ويصل المعدل العالمي الى نحو 1.000 ميل^2/ محطة مطرية، وقد حد استخدام الأقمار الصناعية وشبكات الرادار حاليا من الاستمرار في زيادة كثافة شبكة الرصد المطري.

المشكلات التي تعترض تحليل البيانات المطرية :

تواجه الباحثين عدد من العقبات تحول دون وصولهم الى التحليل الأمثل للبيانات المطرية لمنطقة ما. فقد تفتقر بيانات محطة الى فترة زمنية كافية، فيتم اعتماد محطات مجاورة للتعويض عن هذا النقص، وقد يقع خلل في جهاز المطر لمحطة ما خلال فترة زمنية، فتفقد تلك المحطة جزءا من سلسلتها الزمنية، كما تضطر الجهة المسؤولة عن المحطات المطرية تغيير الجهاز او تبديل مكانه او تغيير مكان المحطة المناخية التي تضم أجهزة الرصد المطري. كما تتطلب بعض الأبحاث الهيدرولوجية التعبير عن الأمطار النقطية بأمطار مساحية وذلك لتقدير كمية

المياه الهاطلة على مساحة ما، ومن ثم معرفة نسبة الأمطار الفعالة لعاصفة ما على نفس تلك المساحة، وذلك عندما يتم حصر كمية المياه المنسابة في قناة ذلك الحوض المائي عند نقطة معينة وقسمتها على مجموع الأمطار الساقطة على ذلك الحوض. وقد تحتاج بعض الدراسات الى معرفة ما هو الاتجاه العام للأمطار في منطقة معينة، أو لمعرفة ما هو النمط السائد لسير الأعاصير الماطرة في احدى المناطق المعنية بالدراسة. كما يهتم المهندسون وعلماء الهيدرولوجيا لمعرفة سنة الرجوع لكمية من التساقط، او تقدير نسبة تكرار كمية ما من الأمطار خلال فترة زمنية. وسنحاول في الصفحات القادمة معالجة بعض هذه القضايا بشكل مفصل.

تعويض بيانات الأمطار المفقودة :

من المتعارف عليه، أن فترة 35 سنة هي الفترة الزمنية المثلى لاعطاء فكرة واضحة عن النمط العام لنظام التساقط لأية منطقة. وقد لا تكون بعض المناطق المعنية بالدراسة مغطاة بشكل كاف من المحطات المطرية ولمدة 35 سنه. فنلجأ بهذه الحالة الى معدلات الأمطار في المحطات المجاورة على أن لا يزيد الفارق بين المحطة المقصودة والمحطة المجاورة ذات السجل الكامل عن 10٪. وقد اقترح Miller طريقة للتعويض، يتم فيها حساب المعدل السنوي للتساقط في المحطات المجاورة خلال 35 سنة، ثم يقسم هذا المعدل على المعدل العام للتساقط لنفس المحطة، ثم يضرب الناتج بمعدل التساقط السنوي للمحطة ذات السجل الناقص، ويكون الناتج هو معدل التساقط السنوي لتلك المحطة. مثال ذلك :

محطة (أ) لها سجل لمدة ثلاث سنوات (وهو الحد الأدنى المقبول في مثل

هذه الحالة)، المعدل السنوي خلال هذه الفترة هو 300ملم، ويحيط بالمحطة(أ) مجموعة من المحطات ذات سجل طويل، يصل معدل الأمطار السنوي فيها 500ملم، نأخذ آخر 35 سنة ولحسب معدل التساقط لهذه المحطات ولنفترض يساوي 600ملم، أي انه يساوي 120٪ من المعدل العام. ويضرب المعدل السنوي لمحطة (أ) والذي يساوي 300ملم بالنسبة 120٪ يكون الحاصل هو معدل سقوط الأمطار للمحطة (أ) خلال 35 سنة. وهو يساوي :

$$300 \times \frac{100}{120} = 250$$ ملم / سنة .

وتستخدم طريقة أخرى، يتم الاعتماد فيها على خطوط تساوي الأمطار isohyets. حيث يتم رسم خطوط المطر المتساوية، اعتمادا على قيم التساقط في محطات مجاورة، ومن خلال الرسم يتم تقدير كمية الأمطار في أية محطة تحتاج الى تقدير كمية التساقط فيها خلال نفس الفترة.

ويتم الاعتماد حاليا على معادلة خط الانحدار البسيط لتقدير كمية التساقط لأية محطة من خلال مجموعة من المحطات المجاورة ولأية فترة كانت. فلو افترضنا أن محطة صويلح قد فقدت قيمة التساقط المطري لشهر كانون ثاني من عام 1997. ومن أجل الحصول على قيمة قريبة من الواقع، نقوم باختيار ثلاث الى أربع محطات مجاورة لها، ونسجل كمية التساقط في هذه المحطات خلال فترة زمنية لا تقل عن 20 سنة تمثل فقط مجموع التساقط في شهر كانون الثاني، ونحسب معامل التفسير او الارتباط من خلال معادلة خط الانحدار البسيط بين تلك المحطات وبين محطة صويلح، والمحطة التي تتمتع بأعلى ارتباط او تفسير بمعنوية احصائية، نعتمدها عند عملية التقدير.

فلو افترضنا أن قيمة a في معادلة خط الانحدار تساوي 20 وقيمة b تساوي 150، فأن كمية الأمطار الساقطة خلال شهر كانون ثاني عام 1997

على مدينة صويلح، اذا علمنا ان محطة الكتة هي الأكثر ارتباطا معها، والتي يصل معدل سقوط الأمطار فيها خلال عشرين سنة يصل الى 150ملم. يقدر بنحو 125ملم، وذلك من خلال تطبيق معادلة خط الانحدار التالية :

$$y = a + bx$$

حيث أن: y = كمية الأمطار المقدرة خلال شهر كانون ثاني لمحطة صويلح.

a = 20 ملم / نقطة القطع

b = 0.7 / معامل الانحدار

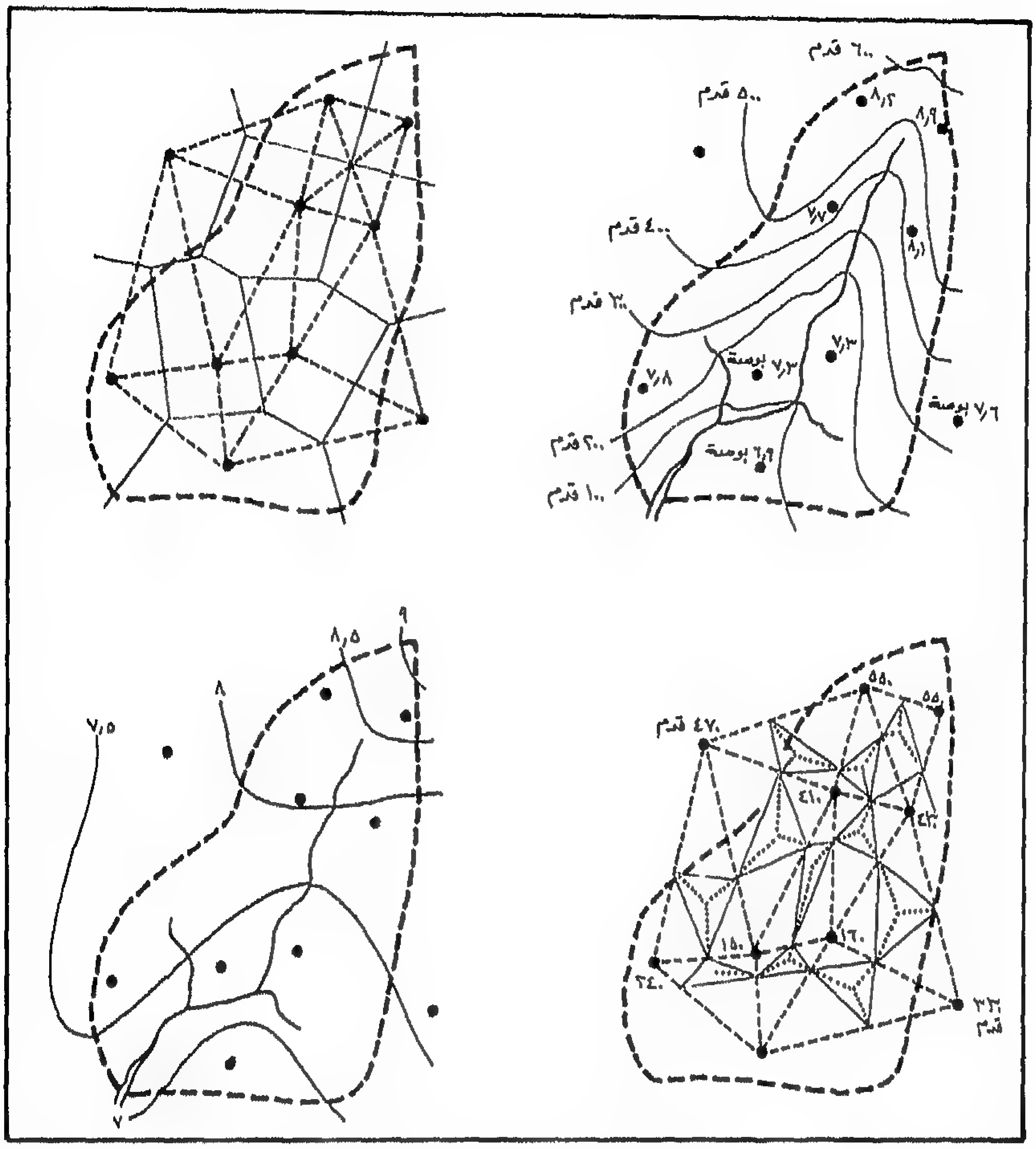
x = معدل الأمطار خلال شهر كانون ثاني في محطة الكتة

تقدير كمية الأمطار الساقطة على مساحة معينة :

يحتاج المختصون في مجال الدراسات الهيدرولوجية الى حساب كمية الأمطار التي تسقط على المكان، وذلك بتحويلها من بيانات نقطية point rainfall الى بيانات مساحية Arial rainfall لتمثل الكميات التي تهطل على المنطقة ككل وليس على المحطة بعينها. وتتبع عدة سبل لانجاز تلك العملية. وتنحصر هذه الطرق بما يلي :

1. المتوسطات الرياضية : Arithmetic mean

وتعد هذه الطريقة أسهل الطرق، وتستخدم في الحالات التي تكون المنطقة المعنية بالدراسة منطقة سهلية قليلة التضرس، أو ضمن المناطق التي تتميز بكثافة شبكة الرصد المطري، وتنحصر هذه الطريقة بجمع كميات الأمطار أو بجمع معدلات الأمطار لجميع المحطات وقسمة الناتج على عدد المحطات. ففي الشكل رقم 15، تدل الرسمة (A) على أن متوسط الأمطار الساقطة على الحوض بنحو 7.78 بوصة، علما بأن منطقة الدراسة ليست سهلية، حيث يبدو الفارق في المنسوب بين أعلى نقطة في الحوض وأخفض نقطة يصل الى 500 قدم.



شكل (15) طرق تقدير كميات الأمطار الساقطة على حوض معين

2. طريقة المضلعات : Thiessen polygons

تمكن هذه بطريقة استخدام بيانات بعض المحطات المجاورة عند استخراج المتوسطات الموزونة ويوضح الرسم (B) في الشكل السابق (15) هـذه الطريقـة. حيـث نصـل بـين المحطـات داخـل الحـوض أو الـتي تقـع علـى أطرافـه بخطــوط مسـتقيمة، ثـم ننصـف تلـك المسـتقيمات، ونقيـم مـن المنتصـف أعمـدة تلتقـي بالأعمدة المنصفة للخطوط الواصلة بين المحطات الأخرى المجاورة، وبهذا نكـون قد قسمنا الحوض الى مضلعات، يقع بمنتصف كل مضلع محطة رصد مطرية، ثـم نقوم بحساب نسبة مساحة كل مضلع من مسـاحة الحـوض الكلـي. ثـم نضـرب معدل التساقط في كل محطة بتلك النسبة، ثـم لجمـع حـاصل الضـرب، ويكـون الرقم المستخرج متوسط كمية التساقط على هذا الحـوض. ففـي الشكـل (15) يدل الرسم (B) على أن متوسط الأمطار الموزونة يصل الى 7.62 بوصة.

أو نقـوم بجمـع كميـة التسـاقط للمحطـات جميعها، ونضــرب كميـة التساقط في كل محطة بمساحة مضلعها، ونجمع حاصل الضرب بينهما، ثم نقسم حاصل الجمع الناتج على مجموع التساقط في كل المحطات، ويكـون النـاتج هـو مقدار متوسط الأمطار الموزونة.

3. طريقة توازن الارتفاع Height-balanced polygons :

وتتميز هذه الطريقة بأنها تعطي وزنا لعامل الارتفاع ولتوزيـع المحطـات في الحوض، وتعتمـد هـذه الطريقـة علـى تنصيـف الخـط الواصـل بـين المحطـات المتجاورة على أساس الارتفاع وليس على أساس المسـافة بينـهما، وعنـد تحديـد النقطة التي تمثل منتصف الفارق في الارتفاع بين المحطتـين المتجـاورتين نقيـم مـن

هذا المنتصف عمودا، كما هو الحال بطريقة المضلعات السابقة الذكر. (انظر الشكل ...C 15) ثم نكمل الخطوات كالمعتاد ونستخرج المتوسط العام للتساقط. وفي المثال المبين في الشكل السابق (C 15) يتضح أن المتوسط العام يساوي 7.57 بوصة.

4. طريقة خطوط المطر المتساوي Isohyetal method :

تحتاج هذه الطريقة الى خبرة متميزة في رسم خطوط تساوي المطر، وتعد هذه الطريقة أفضل من الطرق السابقة، الا أن عيبها بضرورة اعادة الرسم كلما تغيرت الفترة الزمنية، حيث تتغير معها القيم ومن ثم يتغير معها النمط لخطوط التساوي ومن ثم تختلف المساحات المحصورة بين الخطوط، كما يمكننا استخدام محطات رصد مجاورة، لتسهل عملية رسم الخطوط.

وتتم هذه الطريقة بحساب المساحة المحصورة بين كل خطين متجاورين، ثم حساب متوسط الأمطار لتلك المساحة بقسمة حاصل جمع قيمة الخطين على اثنين، ثم تضرب هذه المساحات بمتوسطات أمطارها، ثم تجمع حواصل الضرب وتقسم على مجمع مساحة الحوض، ويكون الناتج هو مقدار متوسط الأمطار الموزونة لذلك الحوض، وفي المثال المتمثل بالشكل (رقم D 15)، فان متوسط الأمطار الموزونة يساوي 7.66 بوصة.

وبواسطة خطوط المطر المتساوية وبتطبيق المعادلة التالية، نستطيع الحصول أيضا على متوسط الأمطار الموزونة للحوض. فمن خلال الشكل D 15، نحسب طول خط المطر المتساوي الذي يمثل أعلى قيمة (A)، ونحسب أيضا طول خط المطر المتساوي الذي يمثل اقل قيمة (B)، وبمعرفة الفاصل ما بين أعلى قيمة

وأقل قيمة (أ) فاننا نحصل على المتوسط الموزون للتساقط على الحوض المعني بالدراسة. ويصل المعدل في المثال الموضح في الشكل الى 7.72 بوصة.

$$r = B + \frac{i}{3}\frac{(2a + b)}{a + b}$$

فترات الرجوع : Return Period

ويقصد بها الفترة الزمنية المتوقع تكرار كمية معينة من الأمطار، وهي من الأمور الهامة عند تخطيط المدن، ومد الطرق والسكك الحديدية، وحفظ التربة وصيانة العديد من الموارد الطبيعية. وقد يستخدم مفهوم عدد السنوات اللازمة لتكرار قيمة معينة، أو مفهوم نسبة احتمال تكرار قيمة معينة خلال فترة زمنية محددة. وقد جرت العادة أن تستخدم فقط أعلى كمية تساقط في كل سنة لمحطة ما. بحيث ترتب هذه القيم تنازليا وتعطى كل قيمة رتبا حسب تسلسلها، فأعلى كمية تحمل رتبة رقم 1، وثانية كمية تحمل رتبة رقم 2 ... حتى نهاية السلسلة. وقد تستخدم السلسلة الشاملة بحيث تدخل جميع كميات التساقط مهما كانت قيمتها وترتب ترتيبا تنازليا حسب قيمتها، وتعطى كل قيمة رتبة حسب تسلسلها. وهناك بعض الطرق لا تحتاج الى استخدام هذا الترتيب حيث تستخدم نماذج رياضية قد تكون في غاية التعقيد، لا يمكن التعامل معها بسهولة الا بواسطة الحاسبات الالكترونية.

ففي المعادلة التالية :

$$T = \frac{1}{p}$$

فان احتمال تكرار أكبر كمية من الأمطار او أعلى منها خلال سلسلة زمنية قدرها 30 سنة في العام القادم هو

$$P = \frac{1}{30}$$

وتساوي 0.033 وان احتمال عدم تكرارها خلال السنة التالية هو :

$$P = 1 - p = 1 - \frac{1}{T}$$

وتساوي 99.97٪. ولو كان لدينا سلسلة زمنية قدرها 300 سنة، وتكررت هذه الكمية عشر مرات، فان احتمال تكرارها في أي سنة قادمة هو 3.3٪ فقط.

ولتحديد الفترة الزمنية اللازمة لتكرار كمية معينة أو أعلى منها، نطبق المعادلة التالية بعد أن نكون قد رتبنا القيم تنازليا.

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

حيث أن:

T = الفترة الزمنية المتوقع تكرار كمية معينة من الأمطار أو تزيد عنها.

n = عدد سنوات السلسلة الزمنية او عدد الحالات / الكميات.

m = رتبة الكمية المقصودة بالنسبة الى جميع الكميات الواردة في السلسلة الزمنية

فلو كانت لدينا كمية من الأمطار تحتل المرتبة (10) ضمن سلسلة زمنية طولها (30) سنة فان عدد السنوات اللازمة / المتوقع تكرار هذه الكمية او أعلى منها هو :

$$\text{الزمن} = \frac{\text{عدد سنوات السلسلة} + 1}{\text{الرتبة}}$$

$$\text{الزمن} = \frac{30 + 1}{10} = 3.1 \text{ سنة}$$

ويتم التعبير غالبا عن هذين المفهومين من خلال المنحنيات البيانية، بحيث يمثل المحور السيني سنوات الرجوع، ويمثل المحور الصادي احتمالية التكرار لكل قيمة من القيم الموجودة في السلسلة المطرية.

الثلج ودوره في الدورة العامة للغلاف المائي :

لا يمثل الثلج خارج نطاق الدائرة القطبية، والعروض العليا نسبة مهمة من التساقط، ففي الولايات المتحدة يشكل التساقط الثلجي 13٪ من مجموع التساقط الكلي. ويركز علماء الهيدرولوجيا على الفترة التي تسقط فيها الثلوج when أكثر من تركيزهم على مكان تساقط where لأنه في النهاية قد يذوب، كما يركزوا على معدل تسارع الذوبان. وذلك للأهمية الكبرى في مجال تقدير التصريف المائي للأودية الرئيسية والأنهار.

توزع الثلوج : Distribution of snow

تميل الثلوج للتوزع بنمط يتفق ونظام التضاريس في المناطق التي يكثر تساقطه فيها. لكون المرتفعات توفر الظروف المناخية الملائمة لتساقطه وبقائه لفترة ما دون ذوبان. اذ يلزم هبوط درجة حرارة الهواء المحمل بقطرات الماء الى ما دون الصفر، وبقاء الهواء الملامس للثلج بعد سقوطه دون الصفر أيضا. لذلك فان تساقط الثلج وبقائه يتأثر بفصول السنة وبارتفاع التضاريس، ويتفاوت منسوب بقاء الثلج دون ذوبان من مكان الى آخر وفق خطوط العرض، كما أنه يتفاوت من فصل الى آخر في الموقع الواحد.

كمية الثلوج الساقطة : Amount of snowfall

من الصعب قياس كمية الثلوج المتساقطة مقارنة بكيفية قياس كمية الأمطار الساقطة، كما انه من الصعب ترجمة كمية التساقط الثلجي الى كميات مطرية، ونظرا لعدم تجانس عمق الثلج وكثافته فان من الصعوبة بمكان تقدير حجمه رغم أهمية هذا الأمر بالنسبة لعلماء الهيدرولوجيا.

وتستخدم مسطرة مدرجة لتقدير عمق الثلوج في عدة مواضع لاعطاء المتوسط العام لسمكه في منطقة ما، وتستخدم قوائم مثبتة بشكل دائم ذات تدرج واضح في المناطق التي تتعرض لتساقط الثلوج بشكل دائم. بحيث يستدل منها على سمك الثلوج.

ولكن الأمر المهم بالنسبة للمختصين في مجال الهيدرولوجيا ليس سمك الثلوج بقدر ما ينتج عنه من مياه، وللحصول على هذا الأمر فان الراصد يقوم بادخال أنبوب معدني داخل الثلج ومن مواقع مختلفة، ويقوم بعد ذلك باذابته وحساب حجم الماء الناجم من حجم محدد، ثم يتم تحويل هذه الكمية الى ما يعادلها من تساقط مطري، ومن ثم يمكن تقدير حجم المياه التي يمكن الحصول عليها بواسطة التسرب والجريان السطحي بفعل الذوبان. وقد دلت الدراسات على أن النسبة بين سمك الثلج وسمك الماء تساوي 12: 1، ان ثلجا بسمك 12سم (120ملم) يمكن أن يساوي 1سم (10ملم) من الأمطار، وينطبق هذا على الثلوج الحديثة التساقط فقط.

وتحرص بعض الدول على قياس كمية الثلوج المتساقط في المناطق النائية، وتحويل كميته مباشرة الى ما يعادلها من مياه، ويستخدم لهذا الغرض

أجهزة خاصة مزودة بحبيبات مشعة لأشعة جاما. مثال ذلك جهاز (Cobalt 60). ويعمل هذا الجهاز على مبدأ تغير نمط تلقيه لأشعة جاما الناجمة عن الحبيبات المشعة المدفونة في الأرض بجانبه. ويتصل هذا الجهاز بمحطات الرصد المركزية بواسطة جهاز ارسال خاص، يبث مباشرة مقدار تساقط الثلج بمقدار ما يعادل ذلك التساقط من ماء. كما يمكن قياس وزن الثلج مباشرة بواسطة صفائح متصلة بميزان يقيس مباشرة وزن الثلج المتراكم عليها، وبعد ذلك نقوم بتحويل هذا الوزن الى ما يعادله من ماء وفق معادلات معروفه.

وتستخدم الأقمار الصناعية، التي تعتمد في مسحها على تقنيات خاصة، يمكنها تحديد المساحة التي تغطيها الثلوج ضمن أحواض التصريف المائي. وقد تستخدم طائرات خاصة أيضا تقوم بالتقاط الصور الجوية لنفس الغرض.

ذوبان الثلج : Snowmelt

من الأمور الهامة في مجال الهيدرولوجيا هو تحديد معدل ذوبان الثلوج. فعندما تذوب الثلوج ببطء فان كمية المياه المتسربة الى باطن الأرض تزداد، وكلما زاد معدل ذوبانه يزيد معدل الجريان المائي. ويعتمد ذوبان الثلج على الموازنة الاشعاعية فوق المساحات المغطاة بالثلج، أي عندما تزيد الطاقة الممتصة عن الطاقة المفقودة. وتعد أشعة الشمس المصدر الرئيسي للطاقة فضلا عن الطاقة المستمدة من سطح الأرض وتكاثف بخار الماء والأمطار الساقطة، الا أن درجة حرارة الهواء هي العامل الحاسم في تحديد معدلات ذوبان الثلوج.

ويتأثر معدل ذوبان الثلوج بالمناخ الأصغري Micro Climate، ففي السطوح الجنوبية بنصف الكرة الشمالي يكون معدل الذوبان أقل منه في

السفوح الشمالية. كما أن المناطق المحاذية للغابات يقل معـدل الذوبـان بصـورة واضحة مقارنة بالمناطق الأبعد. وتمكث الثلوج فترة أطول فوق قمـم المرتفعـات من مكوثها في المناطق السـهلية المنخفضـة. كمـا تلعـب الأمطـار دورا مـهما في تسـارع ذوبـان الثلـوج وبخاصـة في المنـاطق الـتي تغطيـها الثلـوج بسـماكات متواضعة. اذ أن تساقط الأمطار فوق ثلوج سميكـة لا يؤثـر علـى معـدل ذوبانـه بصورة كبيرة.

التبخر Evaporation

مقدمة

التبخر هو عملية تحول المواد السائلة والصلبة الى غازات. وتعد البحار والمحيطات المصدر الرئيسي للبخار الذي يزود اليابسة بالمياه، يلي ذلك ما يتبخر من النباتات والتربة والجداول والأنهار والبحيرات الداخلية. ويقاس التبخر عادة بالسنتيمتر المكعب أو الانش المكعب في الساعة أو اليوم او الشهر او السنة. وللتبخر أهمية كبيرة في عدة مجالات منها ما يتعلق بانتاج الأغذية أو الملابس أو راحة الانسان، وغيرها ....

عملية التبخر :

يتكون الماء كغيره من المواد من جزيئات ميكروسكوبية دائمة الحركة. سواء أكانت هذه المادة ضمن مسطحات مائية واسعة أو على شكل ماء مدمص مع حبيبات التربة. وان هذه الجزيئات في حركة دائمة تزداد بازدياد درجة الحرارة، لدرجة تنطلق بعدها تلك الجزيئات في الجو ضمن الطبقات السفلى للغلاف الجوي. ولذلك فان معدل التبخر يعتمد على عدد الجزيئات التي تنطلق في الجو منقوصا منها عدد الجزيئات العائدة الى ذلك السطح المائي. واذا كان مقدار الجزيئات العائد الى المسطحات المائية أكثر من المنطلق منها فاننا ندعو هذه الحالة بالتكاثف **Condensation**.

وبشكل عام فان عملية التبخر تكون على أشدها في المناطق الحارة الجافة أو في الطقس الحار الجاف وعلى أقله في المناطق الباردة او الطقس البارد

الهادئ. لأن الهواء عندما يكون حارا فان ضغط البخار الاشباعي (E) للماء يكون عاليا، وعندما يكون الهواء جافا فان ضغط البخار الحقيقي (e) للماء يكون منخفضا. أي أن العجز الاشباعي (E-e) في الوضع الجاف يكون كبيرا والعكس في الظروف الباردة يكون قليلا. وتتوقف عملية التبخر عندما يصل مقدار العجز الاشباعي (E-e) الى الصفر، ويمكن أن يحصل ذلك في ظروف خاصة عندما يكون الوضع هادئ بشكل مطلق absolutely calm conditions لذلك فان اضطراب الهواء وزيادة نشاط حركات المزج بين طبقات الغلاف الجوي يساعد على زيادة كميات المياه المتبخرة.

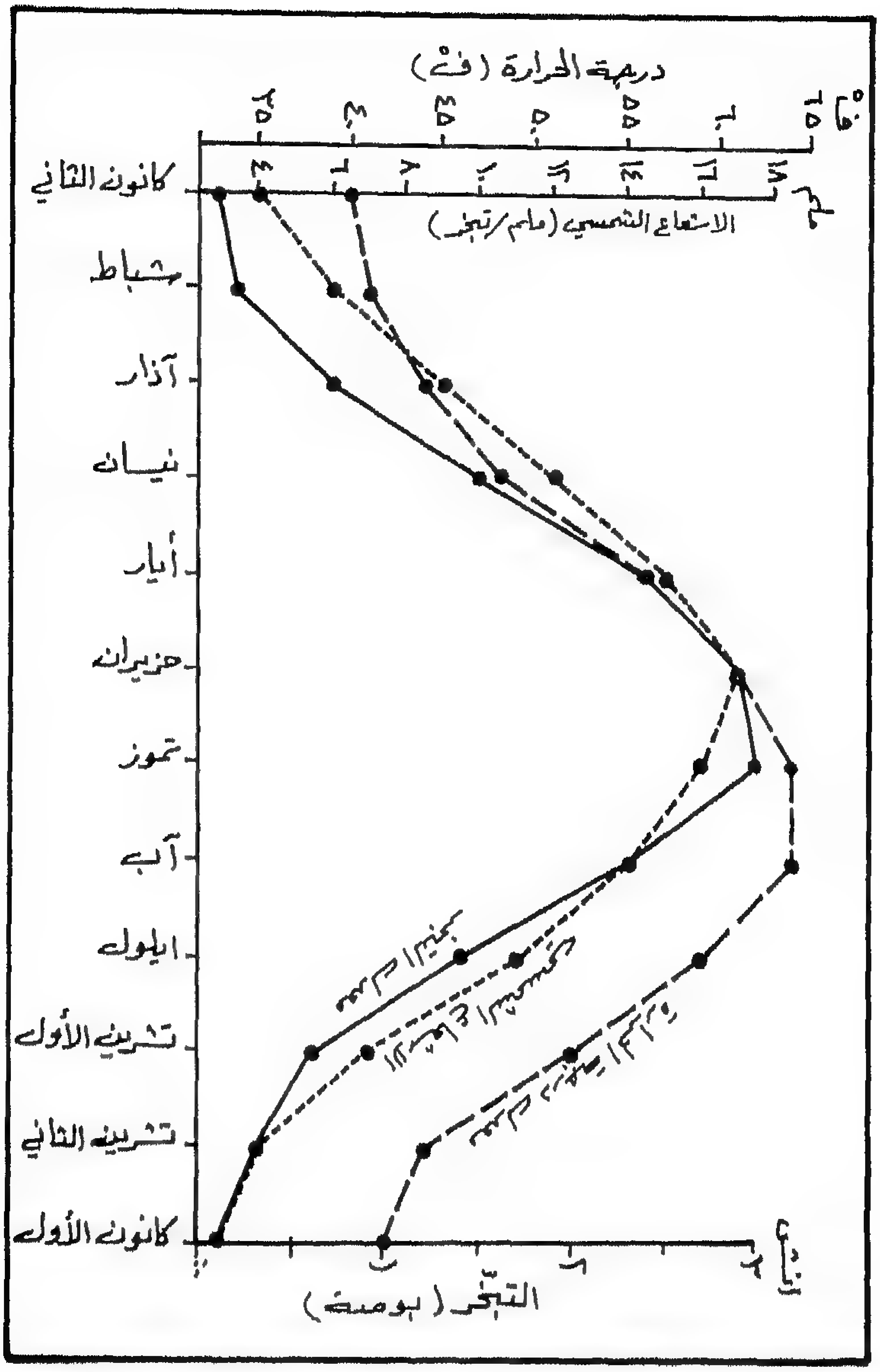
العوامل التي تؤثر على عملية التبخر من المسطحات المائية :

توجد العديد من العوامل الطبيعية والمناخية التي تؤثر بمعدلات التبخر ولكن من الصعوبة بمكان فصل تأثير كل منها على التبخر وهناك طريقتين أساسيتين لتقدير حجم التبخر: الأولى Turbulent transfer.. والثانية : موازنة الطاقة Energy balance. وفيما يلي أهم العوامل المؤثرة على معدلات التبخر.

أولا : العوامل المناخية :

1. الاشعاع : Radiation

يحتاج تبخر غرام واحد من الماء وهو في حالة سائلة الى 590 سعر حراري. ونظرا لكون الشمس هي المصدر الرئيسي للطاقة على سطح الكرة الأرضية فان مقدار التبخر يرتبط ارتباطا وثيقا بكمية الاشعاع الشمسي لدرجة أطلق على عملية التبخر بمجملها Solar Evaporation (الشكل رقم 16).



شكل (16) منحنى العمل الشهري للتبخر الكلي

2. درجة الحرارة : Temperature

يعتمد الماء والهواء بحرارتيهما على كمية الاشعاع الشمسي. وعليه فانه من المؤكد ارتباط درجة حرارتيهما بمعدلات التبخر (شكل 16) فدرجة حرارة المياه السطحية تؤثر على كمية الجزيئات التي تنطلق منه الى الغلاف الجوي، لأن درجة الحرارة تؤثر في سرعة حركة تلك الجزيئات. وان درجة حرارة الهواء تؤثر في عملية المزج والاضطراب التي من شأنها زيادة معدلات التبخر.

3. الرطوبة : Humidity

تؤثر الرطوبة في الجو على كميات التبخر بطريقتين:ضغط البخار الحقيقي والرطوبة النسبية. حيث تتناسب معدلات التبخر مع كمية الرطوبة الحقيقية في الجو ومع الرطوبة النسبية أيضا عند درجة حرارة ما. ويبين الشكل (16) كيف يتباين ضغط البخار الحقيقي تباينا طفيفا خلال اليوم، بينما تتباين الرطوبة النسبية تباينا واضحا وفق تباين درجة الحرارة، فعندما ترتفع الرطوبة النسبية في الجو يقل معدل التبخر في المسطحات المائية. فعلى سبيل المثال عندما تزداد درجة الحرارة من 17م – 17.5م فان مقدار التبخر يزداد من 0.25 ملم / الساعة – 0.93 ملم / الساعة، في حين تنقص الرطوبة النسبية من 91٪ – 75٪.

وعليه، فان ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو الناجم عن انخفاض درجة الحرارة ومع بقاء الظروف الأخرى ثابتة فان معدلات التبخر سوف تتناقص. لذلك فان كمية التبخر في الطقس البارد تكون محدودة مقارنة بتلك الكميات في الطقس الحار. لان الهواء الملامس لسطح الماء يكون قادرا على تحمل كميات أكبر من بخار الماء.

4. الرياح : Wind

عندما يكون الجو هادئا فان كمية المياه المتبخرة من المسطحات المائية تأخذ بالنقصان لأن الطبقات الهوائية الملامسة للسطح تصل الى درجة التشبع، وتعود جزيئات من الماء مرة أخرى الى ذلك المسطح المائي. لذلك فان رياحا خفيفة تعمل على خلط جزيئات الماء الموجودة على شكل بخار في طبقات الهواء الملامسة لسطح الماء تخلطها مع طبقات الهواء الأعلى والأكثر جفافا من السفلى، مما يساعد على زيادة المياه المتبخرة، ومن الصعب جدا أن تجد في الطبيعة هدوءا تاما للهواء، لذلك فان الرياح تؤثر في كميات المياه المتبخرة.

ومن المعروف أن الهواء المضطرب هو الأكثر نجاعة في زيادة معدلات التبخر، علما بأن سرعة الرياح ترتبط ارتباطا وثيقا مع اضطرابه، لذلك يمكننا القول بأن سرعة الرياح عامل هام في زيادة معدلات التبخر، ولكن هذا الأمر ليس مطلقا، حيث تتوقف هذه العلاقة عند سرعة معينة. وتختلف النماذج المستخدمة في تقدير معدلات التبخر في المسافة الرأسية المثالية المعتمدة لقياس سرعة الرياح عندها، فبنمان يعتمد في معادلته ارتفاع 2 متر عن سطح الأرض بينما يعتمد غيره ارتفاع 10 متر عن سطح الأرض.

5. الضغط الجوي : Barometric pressure

من المعروف نظريا بأن جزيئات الماء تصبح أكثر حرية في الانطلاق عندما تكون كثافة الهواء الملامسة لسطح الماء أقل. ولكن من الصعب تقدير أثر عامل الضغط الجوي على معدلات التبخر نظرا لارتباطه بالعديد من عناصر الطقس. ولا توجد علاقة مطلقة واضحة بين معدلات التبخر وقيمة الضغط

الجوي، ففي أعالي القمم الجبلية حيث تنخفض قيم الضغط الجوي تقل درجات الحرارة ومن ثم تقل معدلات التبخر. لذلك يمكن القول بأن العلاقة بين الارتفاع عن سطح البحر وبين معدلات التبخر غير واضحة، فعلى سبيل المثال فقد توصل أحد العلماء الى أن قيم التبخر لا تتغير بصور واضحة على ارتفاعات تزيد عن 10.000 قدم.

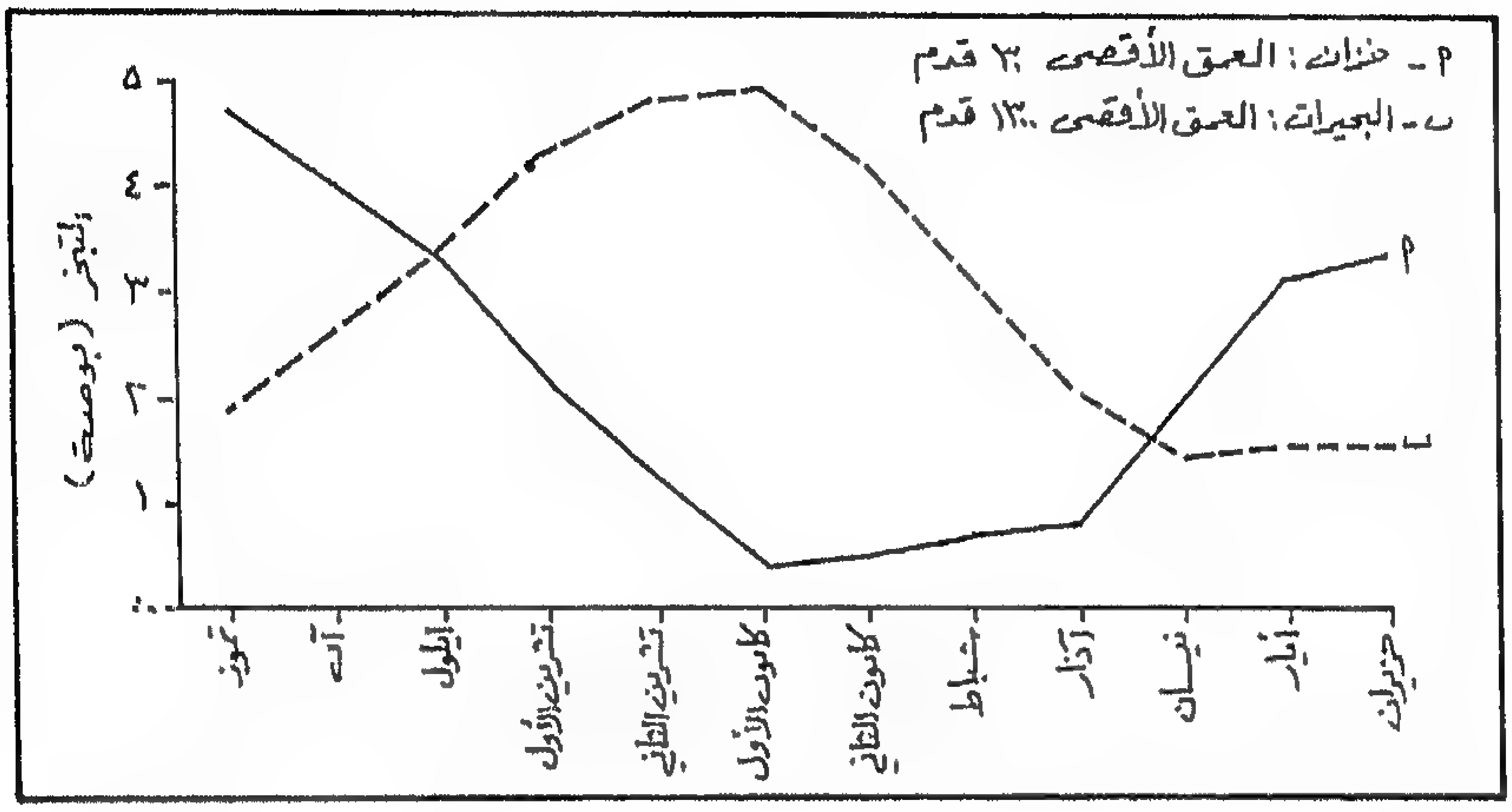
ثانيا : العوامل الجغرافية :

1- نوعية المياه Water quality

تتأثر قيم التبخر من المسطحات المائية بنوعية مياهها. حيث تقل معدلات التبخر 1٪ عندما تزيد ملوحة المياه 1٪ لذلك فان معدل التبخر من المسطحات المائية التي تصل نسبة ملوحتها 3.5٪ تقل من 2 الى 3 ٪ عن تلك المعدلات من المسطحات المائية ذات المياه العذبة. وهذا الأمر يعود الى تناقص ضغط البخار للمياه المالحة. وللعكورة تأثير ضعيف أيضا على كمية التبخر، كما أن للموازنة الحرارية لمياه المسطحات المائية تأثير غير مباشر على معدلات التبخر.

2. عمق المياه : Depth of water body

لعمق المياه أثر مؤكد على معدلات التبخر، ففي المياه الضحلة يتوافق منحنى درجة الحرارة مع منحنى درجة حرارة المياه. ولكن في المياه العميقة فان منحنى درجات الحرارة يكون بصورة عكسية مع منحنى درجات الحرارة للمياه السطحية (شكل 17)، وعليه فان معدلات التبخر في المياه الضحلة تكون على أشدها بمنتصف الصيف، بينما في المسطحات العميقة يكون على أشده بمنتصف فصل الشتاء. ويعود هذا الأمر الى عملية الخزن الحراري وعملية المزج البطيئة ضمن المسطحات المائية العميقة.



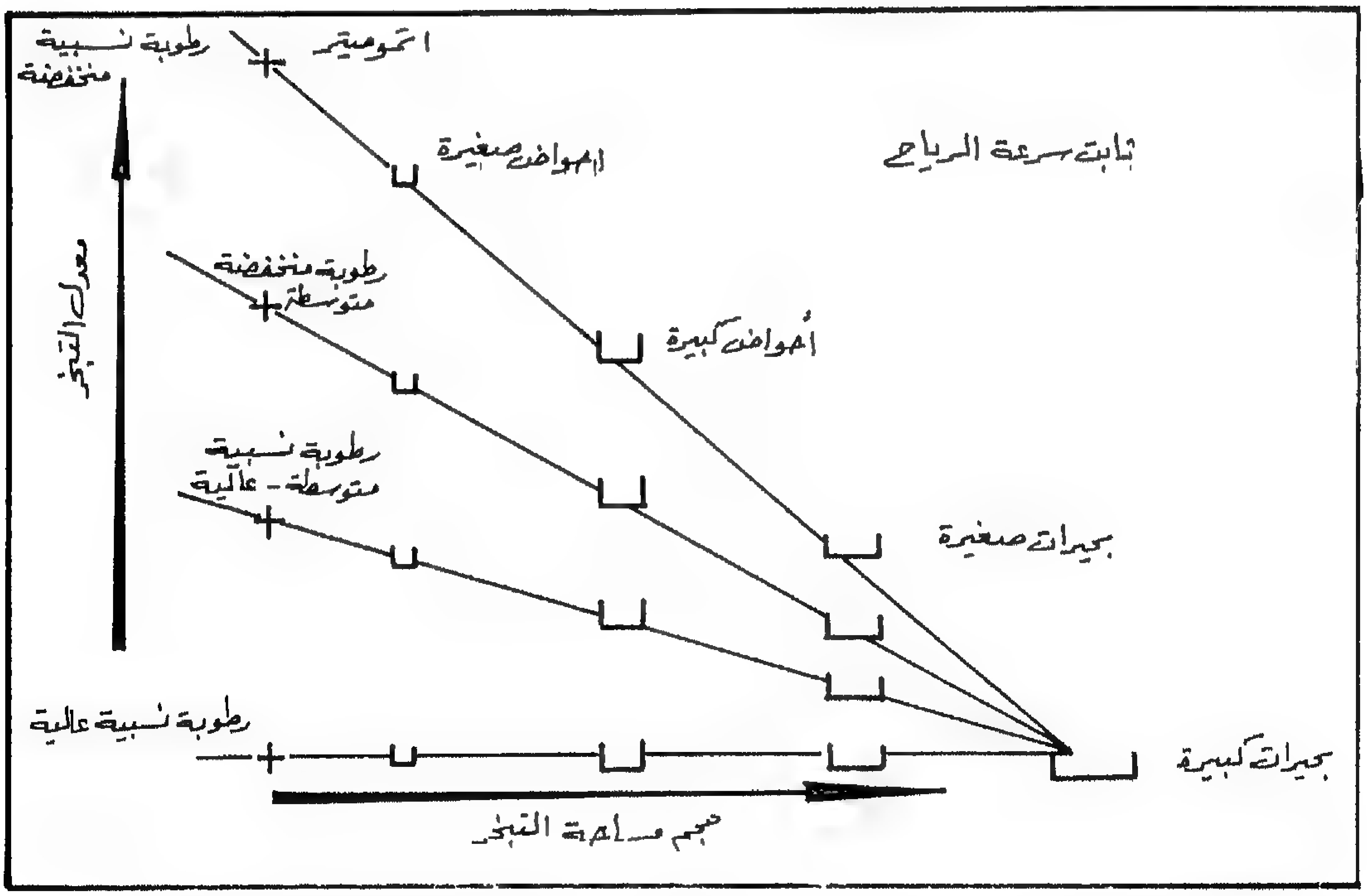
شكل (17) تحليل التبخر أ– التبخر على عمق 30 قدم من خزان مائي ب– التبخر من بحيرة بعمق 1300 قدم

3. حجم وشكل المسطحات المائية Size and shape of water surface

تعرضت هذه الخاصية لمزيد من البحث والتمحيص من قبل العلماء. اذ تبين أن المسطحات الصغيرة الحجم الواسعة المساحة تكون معدلات التبخر فيـها عالية (شكل 18). ويعود السبب في ذلك الى عملية التبخر ذاتها. حيث تنطلـق جزيئات المـاء الى الطبقـات الهوائيـة الملامسـة لسـطح المـاء، وان استمرار هـذه

العملية سوف يؤدي الى زيادة محتوى الهواء الملامس للماء لبخار الماء، مما يؤدي الى الاقلال من معدلات التبخر حيث تنشأ طبقة هوائية تدعى blanket غنية ببخار الماء، واذا استمر تدفق الرياح بنفس الاتجاه فان هذه الطبقة تزداد سماكتها، وتعمل على نقص معدلات التبخر من سطح البحيرات الكبرى. أما فيما يخص البحار والمحيطات الشاسعة فان هذا الأمر لا ينطبق عليها، وانما تخضع لعوامل أخرى كالطاقة الحرارية.

وبعبارة أخرى، فان الرياح الجافة عندما تهب عبر البحيرات الكبرى، تعمل على زيادة التبخر عند البداية، ولكن عند نهايات البحيرة، وعندما يصبح الهواء محملا ببخار الماء، فان معدلات التبخر تقل، بينما لا يتوفر هذا الأمر عندما يكون المسطح المائي صغيرا، حيث تعمل الرياح على نقل بخار الماء بعيدا عن ذلك الجسم.



شكل (18) معدل التبخر من مسطحات مائية صغيرة الحجم واسعة المساحة

العوامل التي تؤثر على معدلات التبخر من التربة :

تؤثر العوامل المناخية السابق ذكرها آنفا على معدلات التبخر من التربة. ولكن معدلات التبخر من التربة تختلف اختلافا جذريا عن تلك المعدلات من المسطحات المائية المفتوحة ليس بسبب العوامل المناخية، ولكن بسبب امكانية توفر المياه لهذه الغاية. ففرص التبخر من المسطحات المائية هي 100٪، بينما تقل تلك النسبة في التربة. لذلك فان العوامل التي تؤثر على معدلا التبخر من التربة هي العوامل التي يمكنها أن تزيد نسبة تلك الفرصة:

1. محتوى الرطوبة المائي للتربة Soil moisture content

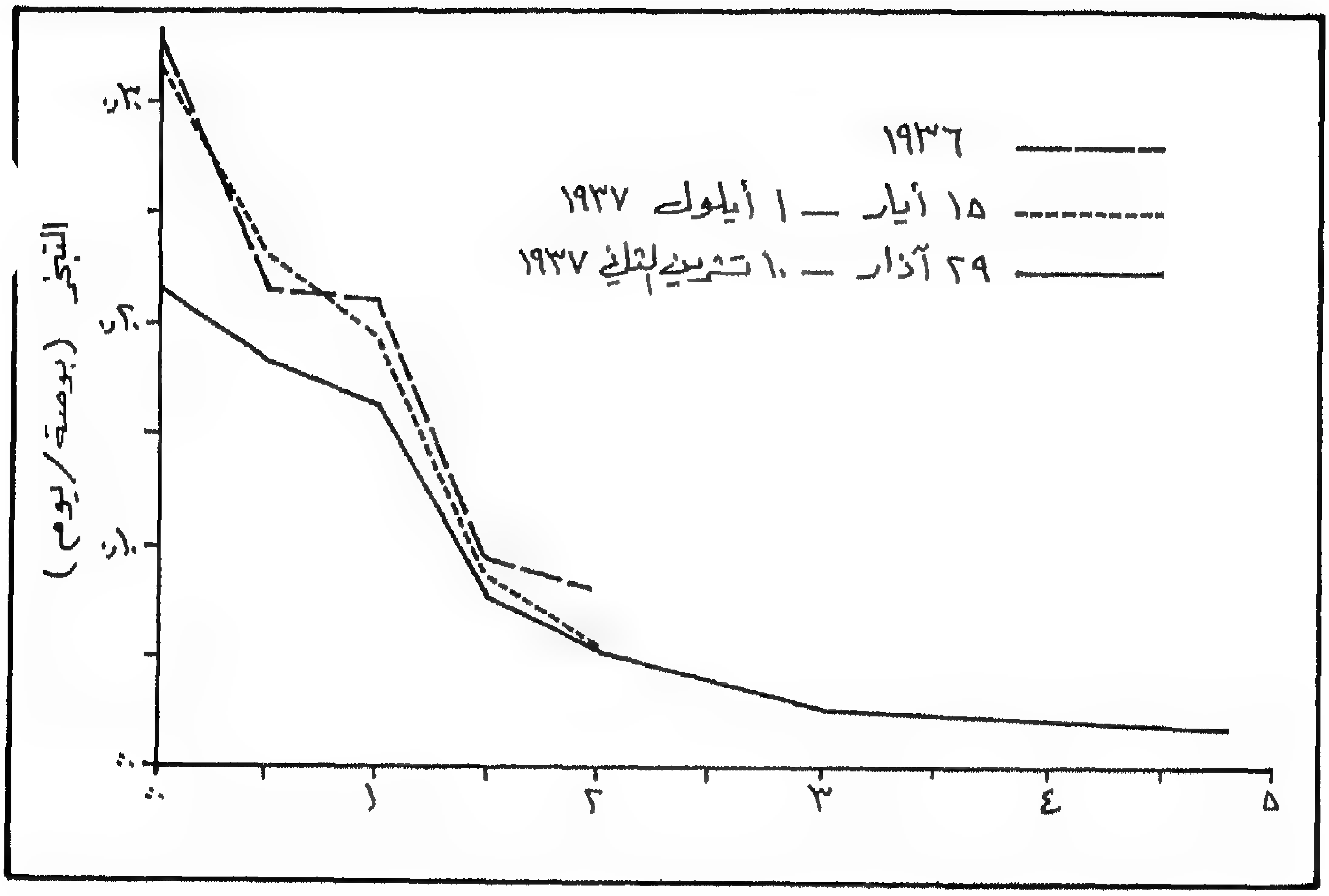
ويعد هذا العامل أهم عامل على الاطلاق. اذ تعامل الترب المشبعة بالماء معاملة المسطحات المائية فيما يخص معدلات التبخر. وقد أثبتت التجارب العلمية في هذا المجال أن هناك علاقة قوية بين معدلات التبخر من المسطحات المائية المفتوحة مع معدلات التبخر من الترب المروية. كما تبين أيضا وجود علاقة قوية بين المحتوى المائي للتربة وبين معدلات التبخر، ويكون مقدار التبخر من التربة المشبعة مساويا لمقدار التبخر من المسطحات المائية.

2. الخاصية الشعرية : Soil Capillary

تزداد الخاصية الشعرية نشاطا كلما كان قوام التربة ناعما، وتقل عندما يكون قوامها خشنا. ولهذه الخاصية أثر كبير في معدلات التبخر من التربة. حيث تعمل تلك الخاصية الشعرية على تزويد حبيبات التربة السطحية بالماء (اذا كان الطقس جافا) ومن ثم تساعد على زيادة معدلات التبخر. ولكن اذا كانت هذه الخاصية ضعيفة فان معدلات التبخر ستكون أقل.

3. عمق المياه الجوفية : Water table depth

تزداد معدلات التبخر من التربة كلما كان مستوى المـاء البـاطني قريبـا من السطح، وتبـدأ المعـدلات بالتنـاقص الى أن يصـل عمـق المياه الجوفيـة الى 3 أقدام، حيث يتوقف ذلك التأثير على معدلات التبخر. ويتضافر هـذا الأثـر مـع أثر الخاصية الشعرية على معدلات التبخر من التربة (أنظر الشكل 19).



شكل (19) العلاقة بين التبخر من التربة وعمق الماء الجوفي

4. لون التربة : Soil colour

يؤثر لون التربة على معدلات التبخر لأن التربة الأغمق تتميز بانخفاض الألبيدو، حيث تمتص كمية أكبر من الحرارة من الترب الأخف لونا. وهذا الأمر يساعد على رفع درجة حرارة الترب الأغمق، ومن ثم زيادة معدلات التبخر.

5. الغطاء النباتي : Vegetation

ان وجود الغطاء النباتي يعمل على خفض درجات الحرارة للتربة لما يسببه من ظل، لذلك فان معدلات التبخر تقل، كما تقلل النباتات من سرعة الرياح، وتزيد من الرطوبة الطبيعية في الجو، وعليه فان الغابات الطبيعية تقلل أحيانا كمية التبخر بنسبة 70٪.

التبخر من الثلج :

لم يحظ هذا الميدان على اهتمام العلماء، حيث تركزت الدراسات في هذا المجال على مدى مساهمة الثلوج في الجريان المائي، فضلا عن الوقت الذي تغطي به الثلوج سطح الأرض تكون الظروف المناخية بوضع تقل بموجبه معدلات التبخر. ولكن حظي هذا الموضوع في الآونة الأخيرة ببعض الاهتمام بعد أن تيقن المهتمون بأهميته.

فعندما يبدأ الثلج والجليد بالذوبان عند درجة الصفر المئوي، فان التبخر يبدأ فقط عندما يكون ضغط البخار للهواء الملامس للثلج أقل من ذلك الضغط على سطح الثلج أو الجليد، ويتوقف التبخر من الثلج نفسه عندما تصل نقطة الندى الى الصفر وأعلى من ذلك، وهنا يكون معدل ذوبان الثلوج

والجليد أعلى من معدل التبخر. كما تبين أن أهم عامل يؤثر على معدلات التبخر من الثلوج هي الرياح. وأن معدل التبخر من الثلوج خلال فصل الربيع يصل الى بوصة واحدة في الشهر أو اقل من ذلك.

تقدير التبخر : The estimation of evaporation

ظهرت خلال القرن العشرين العديد من المعادلات التي تحاول تقدير معدلات التبخر. الا أنها بنيت جميعها على أساس قانون دالتون Dalton الذي ينص على أنه "اذا كان ضغط البخار الحقيقي للهواء الملامس لسطح الماء أقل من ضغط البخار الحقيقي لمياه السطح، فسوف تتم هنا عملية التبخر". وقد وصف اوليفر Olivier عشر طرق لتقدير التبخر. وخلص من دراسته الى انه يوجد استثناء او استثنائين من هذه الطرق والا فان جميعها متشابهة، وان الاختلافات فيما بينها وبين قانون دالتون طفيفة جدا، كما تبين بأن الاختلافات الرئيسية بين هذه الطرق تنحصر بالثوابت المستخدمة بتلك النماذج أو بسبب اختلاف التقنية المستخدمة في القياس، او كليهما معا.

ولكن يمكننا القول بأن أحدث طريقتين الآن هي طريقة **Turbulent Transfer approach** وطريقة **Energy balance approach**، والتي تقوم على أسس فيزيائية الجو.

الطريقة الأولى التحول الاضطرابي : Turbulent Transfer approach

وتقوم هذه الطريقة على مبدأ أن الرياح كالسوائل تسير بخطوط مستقيمة **laminar** أو بحركة اضطرابية **turbulent** حيث تسير جزيئات الهواء في الوضع الأول بخطوط مستقيمة بينما تسير جزيئات الهواء في الثانية بخطوط

غير منتظمة. وتتأثر هاتين الحركتين بمدى خشونة السطح التي تسير الرياح فوقه وسرعة تلك الرياح.

لذلك فانها تتأثر بشكل فعال باستقرارية الهواء، التي تتفاوت من حين الى آخر في اليوم الواحد. ويرتبط هذا الأمر أولا بدرجة حرارة الهواء، لذا فان أقصى حالات المزج والاضطراب تكون في الأيام العادية في ساعات ما بعد الظهر. وما دامت حركة المزج مستمرة فان عملية التبخر تبقى مستمرة، واذا ما توقفت عملية الخلط فان عملية التبخر تتوقف بناء على قانون دالتون.

وبناء عليه، فانه يمكن تقدير معدلات التبخر من خلال القيام بعملية قياس فعلية لرطوبة الهواء على ارتفاعين مناسبين ضمن الطبقة الهوائية المضطربة، وقياس سرعة الرياح على مستوى أو اثنين. وبناء على هذين العنصرين فقد تطورت العديد من المعادلات الخاصة بتقدير معدلات التبخر، والتي سنأتي على ذكرها فيما بعد.

الطريقة الثانية : توازن الطاقة Energy Balance Approach

وتقوم هذه الطريقة على مبدأ يقول: "بأن التبخر يحتاج الى طاقة حتى يتم"، وان تبخر غرام واحد من الماء يحتاج الى 590 سعر حراري، وعليه فان كمية التبخر تعتمد بالدرجة الأولى على الطاقة الحرارية الأصلية على سطح الأرض وفق معادلة الموازنة الاشعاعية :

$$R\text{-}R_A - R_A = H_E + H_A + H_B + H_C$$

حيث تمثل R مقدار الأشعة الواصلة الى الأرض، R_A أشعة طويلة منعكسة من الماء واليابسة الى الجو، R_E تنعكس بفعل الغلاف الجوي، H_E

المستخدمة في عملية التبخر، H_A المستخذمة في رفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض H_B تستخدم لتسخين التربة وسطح الماء، H_C وتستخدم في عملية التمثيل الضوئي.

وتقاس الأشعة الواصلة الى سطح الأرض بواسطة أجهزة خاصة. سواء تلك الأجهزة التي تقيس مباشرة مقدار الأشعة أو باستخدام معادلات خاصة تستخدم ساعات التشمس التي تقاس أيضا بأجهزة خاصة. وأول من حاول استخدام صافي الاشعاع في تقدير معدلات التبخر من المسطحات المائية أنجستروم Angstrom، وتعد معادلة بنمان عام 1948في هذا المجال الأكثر شيوعا.

قياس التبخر من المسطحات المائية

وتتم بواسطة قياس او تقدير المدخلات والمخرجات والكمية المخزنة من المياه لأي مسطح مائي. حيث أن المدخلات هي التساقط ومياه الجداول والينابيع، أما المخرجات فهي التبخر والجريان والتسرب وتغير المخزون. ولكن تعاني هذه الطريقة من اهمالها لقضية التسرب المائي seepage losses والتي تحدث خللا بكل المتغيرات الأخرى.

أحواض التبخر Evaporation pans

وهي من أكثر الطرق شيوعا واسهلها. وتختلف هذه الأحواض في الابعاد والمواد وفي طرق التثبيت. فمنها ما يثبت فوق سطح الأرض ومنها ما يدفن في التربة ومنها ما يبقى ظاهرا على السطح. ولكل من هذه الطرق الثلاث محاسنها ومثالبها.

ويعد جهاز The U.S.A weather Bureal class A evaporation pan الأشهر في العالم، ويبلغ قطره 122سم، وعمقه 25سم ويرتفع عن الأرض مسافة تسمح بحرية مرور الهواء من حوله. ومن المعروف أن معدل التبخر من المسطحات الصغيرة يفوق تلك المعدلات من المسطحات الواسعة، لذلك أقترح لكل نوع من أنواع أحواض التبخر معامل خاص Coefficient فمثلا حوض British standard (Mo) المطور يتراوح المعامل بين (0.93 – 1.07)، أما حوض B.p.1 المغمور أفقيا فيتراوح المعامل ما بين (0.91 – 1.04)، ويصل معامل حوض Colorado المطمور الى (0.83)، وتتراوح قيمة معامل class A بين (0.69 – 0.74).

أجهزة قياس التبخر الصغيرة Small Atmometers

نوع بيشي Piche type

هذه الأداة طورت من قبل بيتشي عام 1872، وهي عبارة عن أنبوب زجاجي يصل طوله الى 29سم. وبقطر يصل الى 1سم، ونهايته مفتوحة، ويملأ هذا الأنبوب بماء مقطر، ويقفل الجانب المفتوح منه بواسطة ورقة نشاف تثبت على تلك الفتحة بواسطة مربط.ويعلق الجهاز بحيث تكون الفتحة المقفلة بورقة النشاف الى أسفل. علما بأن الانبوب مدرج، ونستطيع تقدير مقدار التبخر من خلال قراءة مستوى الماء على الانبوب المدرج.

ومن أهم مساوئ استخدام هذا الجهاز هي سرعة الرياح، ولهذا السبب يثبت هذا الجهاز داخل كشك ستيفنسون Stevenson Screen، ومن أهم محاسنه بساطته وسهولة تثبيته واستخدامه.

نوع لفنجستون Livingston type

ويتكون من كرة بيضاء نفـوذة Porous porcelain sphere مملـوءة بالماء المقطر، تتصل بأنبوب يوصلها الى مستودع يزودها بالماء، ويوجد بهذا المستودع ترقيم يدل على مدى استهلاك تلك الكرة من مياه، نستدل بواسطتها على مقدار التبخر، ومن مساوئ هذا الجهاز هو لونها الأبيض، ثم تعرضها لتأثير الرياح، ولكنها سهلة الاستعمال وقريبة من نتائج Class A pan.

نوع بللاني Bellani type

ويتكون هذا الجهاز من قطعة بورسلين سوداء دائرية الشكل يصل قطرها 7.5سم. وتزود هذه القطعة بالمياه المقطرة من خزان يجعلها رطبة بشكل دائم، ويوجد صمام يمنع رجوع الماء الى الخزان اذا سقطت الأمطار على تلك القطعة. أو تكاثف الندى عليها. لكون تلك القطعة مكشوفة.

التبخر / النتح Evapotranspiration

النتح Transpiration عبارة عن ترك الماء النباتات الحية وبخاصة عن طريق الأوراق لتدخل الغلاف الجوي على شكل بخار ماء. أما التعريف الشامل للتبخر / النتح فهو: "مجمل كميات المياه المستخدمة في عملية نمو النباتات في منطقة ما على شكل نتح أو بناء أنسجة تلك النباتات بالاضافة الى تلك المياه التي تتبخر من التربة المجاورة لها أو من الثلج المتراكم، أو تبخر الأمطار المحتبسة على الأشجار بمنطقة ما بزمن محدود".

التبخر/النتح الكامن والحقيقي Potential and Actual Evapotranspiration

التبخر الكامن potential evaporation (PE) هو عبارة عن كمية الرطوبة الآتية سواء من التربة أو من الجو على شكل تساقط والتي تكون كافية كل الوقت لامداد الغطاء النباتي بحاجته من الماء لغايات التبخر. وقد عرفه ثورنثويت بأنه عبارة عن كميات المياه المفقودة من قبل النباتات عندما لا تكون التربة تعاني من عجز مائي. ثم عرفه بنمان بأنه عبارة عن كمية المياه المتبخرة من مساحة ما مغطاة بمحصول قصير أخضر، يتمتع بنمو نشط، ويظلل الأرض تظليلا كاملا ومتساوي الارتفاع ولا يعاني من نقص المياه.

كما هو واضح من التعريفات السابقة فان عملية التبخر / النتح عبارة عن مفهوم مناخي نظري بحت فالمحصول الأخضر في بداية نموه لا يكون قد غطى جميع التربة، وعليه فان كمية التبخر والنتح في هذه الحالة تتأثر بحجم النبتة وبكمية الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح.

وتحت الظروف الطبيعية وبخاصة خلال فصل الصيف، فان مقدرة التربة على تزويد النباتات بالرطوبة تكون غير كافية، وبمثل هذه الحالة فاننا لا نعتبر التبخر والنتح الكامن، لأن التبخر والنتح الحقيقي يهبط الى ما دون معدلات التبخر الكامن. وعليه فان مقدار التبخر / النتح الحقيقي بمثل هذه الظروف يحدد بناء على مقدرة النباتات على استخلاص الماء من التربة، والتي تعتمد بشكل رئيسي على العمق، وكثافة الجذور، وعلى سرعة حركة المياه داخل مسامات التربة. وبسبب هذه العلاقات المعقدة، فانه من الصعب جدا تقدير او قياس مقدار التبخر / النتح الحقيقي اذا كان أقل من قيمة التبخر الكامن.

العوامل التي تؤثر في التبخر / النتح :

كما هو الحال بالتبخر فان معدلات التبخر والنتح تتأثر بعدة عوامل مختلفة أهمها العوامل المناخية مثل : درجة الحرارة والاشعاع الشمسي وسرعة الرياح. وعوامل تخص النباتات مثل : حجم المسامات، ونوع النباتات ونموها وعوامل أخرى تخص ظروف التربة كالسعة الحقلية ونقطة الذبول واللتان تتأثران ببعض الخصائص الطبيعية للتربة.

طرق تقدير كمية التبخر / النتح The estimation of Evapotranspiration

نظرا لتعقد العلاقات المختلفة بين العديد من العناصر الطبيعية التي تهيمن على عملية التبخر / النتح، فلا توجد حتى الآن معادلة استطاعت الوصول الى تقدير دقيق لمعدلات التبخر / النتح. حيث تركز معظمها على تقدير كمية التبخر / النتح الكامن أكثر من التبخر / النتح الحقيقي. ولذلك فقد أهملت العديد من العوامل النباتية في هذا المجال وتم التركيز على العوامل المناخية فقط. وقد بنيت جميع النماذج والمعادلات على الاساسين التي بنيت عليهما معادلات التبخر وهما : Exchange of energy , Turbulent Transfer أو بكليهما معا.

ومن الجدير بالملاحظة، أن جميع المعادلات المستخدمة في تقدير معدلات التبخر / النتح لا تعود أي منها الى عالم هيدرولوجيا، وانما يعود معظمها الى علماء المناخ والفيزياء. ويعود السبب في ذلك كون الهيدرولوجي يهتم كثيرا بالمدد القصيرة الأجل (5 أيام، أسبوع، 10 أيام) لاستخراج معدلات التبخر/ النتح فيهما، بعد أن يتم ربطها بمقدار التسرب، والجريان المائي ومستوى الماء

الجوفي، بينما يهتم عالم المناخ بالمدد الأطول على مستوى الشهر أو السنة أو أكثر. ولذلك غالبا ما يستخدم الهيدرولوجي معادلة غير مناسبة لتقدير التبخر / النتح.

وتعد معادلة ثورنثويت وهولزمان Thornthwaite and Holzman أقدم المحاولات لتقدير معدلات التبخر من النباتات والتربة والمسطحات المائية، حيث اصدروا أول معادلة لهم عام 1939، ثم عدلت معادلتهم عن طريق Pasquill عام 1949، 1950. ثم معادلة Halstead عام 1951 ثم معادلة Crowe عام 1957. كما طور كل من بلاني Blaney وكردل Cridle عام 1950 و 1954 معادلة أخرى.

وقبل نصف قرن من الآن فقد استطاع ثورنثويت C. Warren Thornthwaite من الولايات المتحدة الأمريكية وبنمان H. L. Penman من بريطانيا تطوير معادلات خاصة لتقدير معدلات التبخر / والنتح، ما زالت تستخدم على نطاق واسع من قبل علماء الهيدرولوجيا وعلماء المناخ.

طريقة ثورنثويت The Thornthwaite Method

تم تطوير معادلة ثورنثويت عدة مرات خلال الفترة (1944 – 1954) الى أن وصلت الى ما هي عليه الآن، وهي الأكثر استخداما من قبل الجغرافيين. وتقوم المعادلة على حساب التبخر عن طريق استخدام درجة الحرارة فقط.

وتنص معادلة ثورنثويت على ما يلي :

$$e = 1.6b\,(10t/I)^{a}$$

حيث أن :

e= معدل التبخر الشهري بالسنتيمتر.

t = معدل درجة الحرارة الشهرية بالدرجات المئوية.

a = دالة للقرينة الحرارية، وتحسب وفق المعادلة التالية :

$$a = 0.000000675\, I^3 - 0.000071\, I^2 + 0.01793 I + 0.49239$$

b = معامل تصحيح لعدم تساوي طول الأيام خلال الشهر الواحد، وتتغير وفق درجات العرض حسب الجدول (1)

I = قرينة سنوية لدرجة الحرارة وتتكون من مجموع اثني عشر قرينة شهرية (i)

$$i = (t / 5)^{1.514}$$

حيث أن :

t = معدل درجة الحرارة الشهري بالدرجة المئوية.

وتتميز هذه المعادلة بسهولة استخدامها نظرا لتوفير البيانات المناخية المتعلقة بتطبيقها، الا انه يؤخذ عليها اعتمادها المطلق على درجة الحرارة، وتأخر تقديراتها اليومية عن المسار اليومي والسنوي لدرجة الحرارة، فضلا عن افتراضه توقف عملية التبخر عند درجة الصفر، ثم عدم احتسابه لتأثير الرياح على عملية التبخر، وعدم دقة استخدامها في المناطق الجافة وشبه الجافة.

جـــدول ( )

القيم التي تستعمل في تعديل معدلات التبخر الشهرية في معادلة ثورنثويت(١)

درجة العرض	كانون٢	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين١	تشرين٢	كانون١
٠	٠٤ر١	٩٤ر٠	٠٤ر١	٠١ر١	٠٤ر١	٠١ر١	٠٤ر١	٠٤ر١	٠١ر١	٠١ر١	٠١ر١	٠٤ر١
٥ شمالا	٠٢ر١	٩٣ر٠	٠٣ر١	٠٢ر١	٠٦ر١	٠٣ر١	٠٦ر١	٠٥ر١	٠١ر١	٠٣ر١	٩٩ر٠	٠٢ر١
١٠	٠٠ر١	٩١ر٠	٠٣ر١	٠٣ر١	٠٦ر١	٠٨ر١	٠٧ر١	٠٧ر١	٠٢ر١	٠٢ر١	٩٨ر٠	٩٩ر٠
١٥	٩٧ر٠	٩١ر٠	٠٣ر١	٠٤ر١	١١ر١	٠٨ر١	١٢ر١	٠٨ر١	٠٢ر١	٠١ر١	٩٥ر٠	٩٧ر٠
٢٠	٩٥ر٠	٩٠ر٠	٠٣ر١	٠٥ر١	١٣ر١	١١ر١	١٤ر١	١١ر١	٠٢ر١	٠٠ر١	٠٠ر٠	٩٤ر٠
٢٥	٩٣ر٠	٨٩ر٠	٠٣ر١	٠٦ر١	١٥ر١	١٤ر١	٧ر١	١٢ر١	٠٢ر١	٩٩ر٠	٩١ر٠	٩١ر٠
٢٦	٩٢ر٠	٨٨ر٠	٠٣ر١	٠٦ر١	١٥ر١	١٥ر١	١٧ر١	١٢ر١	٠٢ر١	٩٩ر٠	٩١ر٠	٩١ر٠
٢٧	٩٢ر٠	٨٨ر٠	٠٢ر١	٠٧ر١	١٦ر١	١٥ر١	١٨ر١	١٣ر١	٠٢ر١	٩٩ر٠	٩٠ر٠	٩٠ر٠
٢٨	٩١ر٠	٨٨ر٠	٠٣ر١	٠٧ر١	١٦ر١	١٦ر٠	١٨ر١	١٣ر١	٠٢ر١	٩٨ر٠	٩٠ر٠	٩٠ر٠
٢٩	٩١ر٠	٨٧ر٠	٠٣ر١	٠٧ر١	١٧ر١	١٦ر١	١٩ر١	١٣ر١	٠٣ر١	٩٨ر٠	٩٠ر٠	٨٩ر٠
٣٠	٩٠ر٠	٨٧ر٠	٠٣ر١	٠٨ر١	١٨ر١	١٨ر١	١٩ر١	١٤ر١	٠٣ر١	٩٨ر٠	٨٩ر٠	٨٨ر٠
٣١	٩٠ر٠	٨٧ر٠	٠٣ر١	٠٨ر١	١٨ر١	١٩ر١	٢٠ر١	١٤ر١	٠٣ر١	٩٨ر٠	٨٨ر٠	٨٨ر٠
٣٢	٨٩ر٠	٨٦ر٠	٠٣ر١	٠٨ر١	١٩ر١	٢٠ر١	٢١ر١	١٥ر١	٠٣ر١	٩٨ر٠	٨٨ر٠	٨٧ر٠
٣٣	٨٨ر٠	٨٦ر٠	٠٣ر١	٠٩ر١	١٩ر١	٢٠ر١	٢٢ر١	١٥ر١	٠٣ر١	٩٧ر٠	٨٨ر٠	٨٦ر٠
٣٤	٨٨ر٠	٨٥ر٠	٠٣ر١	٠٩ر١	٢٠ر١	٢٠ر١	٢٢ر١	١٦ر١	٠٣ر١	٩٧ر٠	٨٧ر٠	٨٦ر٠
٣٥	٨٧ر٠	٨٥ر٠	٠٢ر١	٠٩ر١	٢١ر١	٢١ر١	٢٣ر١	١٦ر١	٠٣ر١	٩٧ر٠	٨٦ر٠	٨٥ر٠

(١) علي موسى ، ١٩٧٨ ، المناخ الاقليمي (مكتب الانوار بدمشق) ، ص ٩٣ .

معادلة بنمان : The penman method

تعتمد معادلة بنمان على كل من أسلوب توازن الطاقة وأسلوب ديناميكية الهواء،وهي الأكثر استخداما عند تقدير معدلات التبخر من المسطحات المائية، وتنص المعادلة على ما يلي :

$$E = (\Delta / yH + Ea) / (\Delta / y + 1) \text{ mm/day}$$

حيث أن :

E = تمثل التبخر من المسطح المائي.

Δ = درجة انحدار منحنى ضغط بخار الماء المشبع عند درجة الحرارة المطلوبة (mm Hg./F)

y = ثابت معادلة السيكروميتر وهو يساوي 0.65.

H = الموازنة الحرارية للمسطح المائي.

Ea = وتمثل ديناميكية الهواء، ويمكن حسابها وفق المعادلة التالية :

$$Ea = 0.35 (e_a - ed) (1 + U/100) \text{ mm/day}$$

حيث أن :

e_a = ضغط بخار الماء المشبع عند معدل درجة الحرارة المطلوبة (mmHg)

ed = ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة نقطة الندى.

U = سدل سرعة الرياح في اليوم بالميل على ارتفاع مترين عن سطح الأرض.

أما (H) بمعادلة بنمان فيمكن حسابها من خلال المعادلات التالية :

$$H = A - B \text{ mm/day}$$

حيث أن:

A= الاشعاع الشمسي قصير الموجة الذي يصل سطح الأرض لو لم يكن الغلاف الجوي موجودا.

B = الاشعاع الشمسي طويل الموجه الذي يشع من الأرض.

ويمكن حساب كل منهما وفق المعادلات التالية :

$$A = (1-r)\, Ra\, (0.18 + 0.55n/N) \text{ mm/day}$$

$$B = QTa^4\, (0.56 - 0.09\sqrt{ed})(0.10 + 0.90\, n/N) \text{ mm/day}$$

حيث أن :

Ra = الاشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض لو لم يكن الغلاف الجوي موجودا.

r = معامل انعكاس الأشعة من السطح المعرض للتبخر.

n = عدد ساعات التشمس الفعلي.

N = عدد ساعات التشمس النظري.

Q = ثابت ستيفن – بولتزمن.

Ta = معدل درجة الحرارة المطلقة.

e_d = ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة نقطة الندى.

وتتوفر في العديد من المؤلفات المناخية الجداول الخاصة بتقدير عدد من المتغيرات اللازمة لتطبيق هذه المعادلة وتم تطوير العديد من برامج الحاسوب لتقدير قيم التبخر من خلال معادلة بنمان، حيث وفرت تلك البرامج على الباحثين الوقت والجهد، وضمنت للنتائج الدقة. ورغم صعوبة تطبيق هذه المعادلة بالطرق الاعتيادية بسبب تعدد بياناتها وعدم توفر معظمها أحيانا، الا أنها ما زالت تحتل المرتبة الأولى في شيوع استخدامها، وهي معتمدة رسميا من قبل سلطة المياه، ودائرة الأرصاد الجوية، وسلطة المصادر الطبيعية.

طرق قياس التبخر / النتح الحقيقي والكامن

سيتم التطرق الى نوعين من الأجهزة التي تقيس مقدار التبخر والنتح الحقيقي والكامن.

الأول : جهاز قياس التبخر / النتح **Evapotranspirometers**. والثاني جهاز اللايزميتر **Lysimeters**.

جهاز قياس التبخر/ النتح : Evapotranspirometers

يمكن تقدير كميات النتح الكامنة عندما تكون رطوبة التربة غير محدودة بواسطة صناديق معزولة عن التربة الرطبة حيث يتم حساب موازنتها المائية. ويضم هذا الجهاز ثلاثة خزانات من الماء أو أكثر يملأ على الأقل اثنين منها بالتربة التي ستزرع بنباتات طبيعية من نباتات المنطقة المحيطة، وترتبط خزانات التربة بخزان الماء الرئيسي بواسطة أنابيب، ويمكن للماء ان يدخل الى التربة الموجودة في الخزانات فقط من خلال الجو سواء كانت على شكل تساقط

طبيعي أو صناعي، ويمكنها أن تخرج مرة أخرى عن طريق المصارف أسفل تلك الصناديق. ومن خلال قياس الفرق بين الكميات التي تسربت الى اسفل وجمعت في خزان الماء وبين الكميات التي سقطت طبيعيا او صناعيا، تستطيع معرفة مقدار النتح / التبخر الكامن.

جهاز اللايزميتر Lysimeters

يقوم الجهاز السابق على مبدأ ابقاء ظروف السطح موحدة، من خلال الغطاء النباتي ومحتوى التربة من الماء لنتمكن من تحديد مقدار الفقدان الكامن بدقة. أما جهاز اللايزميتر فانه يعكس مقدار التبخر / النتح الحقيقي. ولتمييزه عن السابق فانه أكثر تمثيلا للبيئة المحيطة به من جميع النواحي وبخاصة التربة والنباتات الطبيعية. ولضمان دقة التقديرات فانه من الضروري الابقاء على رطوبة التربة ضمن السعة الحقلية، حيث تكون امكانية استيعابه رطوبة أكثر قليلة، وبالتالي فان أي زيادة على السعة الحقلية مصيرها الجريان، الذي يسهل قياسه، ونستطيع من خلاله تقدير التبخر / النتح الحقيقي. والطريقة المثلى لقياس مقدار التبخر / النتح الحقيقي هو وزن اللايزميتر بصورة منتظمة.

ومن بين أشهر أجهزة اللايزميتر المستخدمة على نطاق واسع جهاز Coshocton الذي يقيس بدقة متناهية كمية التبخر / النتح الحقيقي الى مستوى من الدقة يصل الى 0.01 انش من الماء. وجهاز Slaidburn الذي أقيم قرب Slaidburn بيوركشير Yorkshire. كما تشتهر هولندا بتعدد تلك الأجهزة حيث أنشيء أول جهاز فيها عام 1903 في منطقة الكثبان الرملية قرب leiduin. ويعد الجهاز الذي أنشيء عام 1940/1941 شمال هولندا قرب

Castricum الأضخم في العالم، ويبعد هذا الجهاز عن الشاطئ مسافة 2كم وتبلغ مساحة خزاناته 25 متر مربع، ومجمل مساحته تصل الى 625 متر مربع وبعمق يصل الى 2.5 متر، ويصل عددها ضمن هذه المنطقة الى أربعة أجهزة. ومن الجدير بالاشارة الى أن 32 جهازا أقيمت قرب Wageningen ويتراوح عمق هذه الأجهزة ما بين 100–150سم، ثمانية منها يحتوي تربة رملية و 120 جهازا آخر تحتوي على تربة طينية. وما تبقى (12) تحتوي على الخث peat، وجميع هذه الأجهزة قابلة للوزن، أي بامكاننا أن نقدر التبخر / النتح الحقيقي بواسطة الوزن. كما طور العلماء في عام 1963 في محطة للأبحاث National Vegetable Research Station قرب Wellesbourne بيوركشير جهاز سهل الاستخدام متواضع الأبعاد يسهل وزنه.

الفصل الثالث

الجريان Runoff

يمثل الجريان من منطقة معينة نتيجة متكاملة لكل العوامل الهيدرولوجية والميتورولوجية التي تعمل في حوض تصريف مائي. والجريان متغير كمي ليس من سنة لاخرى بل من فصل لآخر ومن يوم لآخر بل من ساعة لاخرى. انه ليس من الممكن تحديد تأثير مختلف العوامل من ناحية كمية على الجريان ولكن فهم عملية الجريان تسمح بتقييم العلاقات المتبادلة لمختلف العوامل.

ان أهم عامل يؤثر ويحدد كما ونوعا عملية الجريان هو المناخ من خلال عنصري الأمطار والتبخر بالاضافة الى عناصر اخرى هي عوامل مهمة مثل التربة والنبات.

يعبر عن الجريان عادة بوحدات قياس قدم مكعب في الثانية (Q.f.s.) أو متر مكعب في الثانية (Q.M.S.) الخ ،. والجريان من جهة أخرى يستعمل او يستخدم لقياس كمية الماء من اجل تقييم كمية الموارد المائية لأي منطقة.

مصادر الجريان Sources of Streamflow :

ينجم الجريان عن الأمطار من خلال ثلاث مكونات :-

أولها الجريان الناتج عن الأمطار والثاني هو الثلج المذاب، ويعتبر هذا المصدر الأهم في الجهات ذات المناخ البارد، ويشكل ما نسبته 30-40٪ من مجموع مياه الجريان، ويستمر تأثيره لعدة اشهر.

المصدر الثالث هو الماء الجوفي وهو عبارة عن المياه التي تسربت من المصدرين الأول والثاني، ويستمر هذا المصدر في تزويد الماء الجاري طيلة أيام السنة.

عملية الجريان Steramflow Process

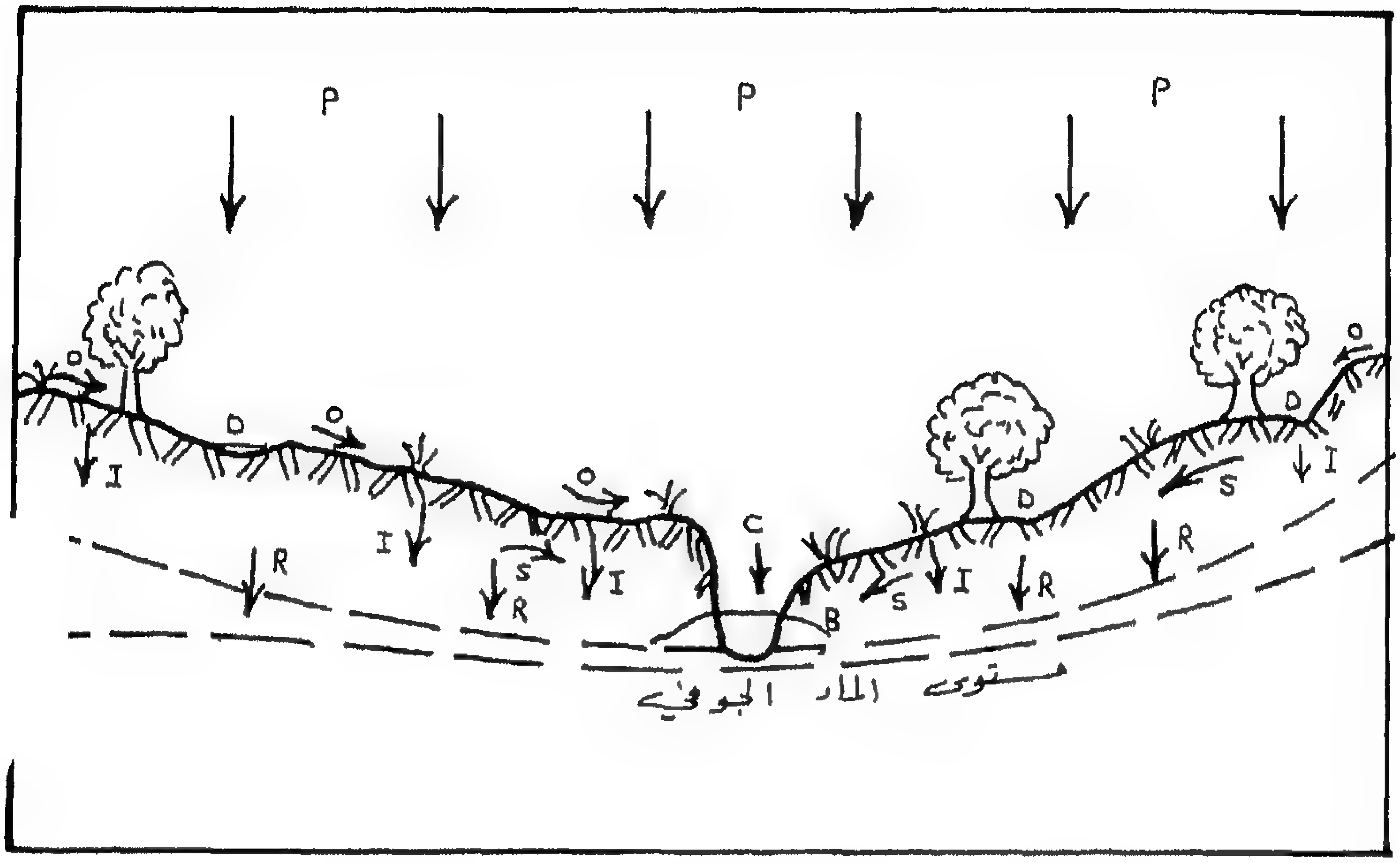
ان وصف عملية الجريان يمكن ان تعتمد على سؤال هو ماذا يحدث للأمطار عندما تصل الماء الجوفي؟ هناك وصف شامل لهذه العملية وهي ما تعرف بالدورة المائية وهي على خمسة أشكال مرتبطة بشكل او بآخر بالأمطار.

القدرة السطحية Surface Retention

وهي الكميات المفقودة من عملية الجريان وذلك كنتيجة للاعتراض Interception وانخفاض المخزون المائي، ان اثر الاعتراض يكون واضحا بسبب وجود الأشجار والطبقة العضوية الناتجة عنها وذلك خلال عاصفة مطرية. حيث تعترض الأشجار والطبقة العضوية معظم المياه الساقطة من العاصفة المطرية، بينما يتم تبخر الجزء المتبقي منها. وفي بعض الحالات فان الأمطار الخفيفة في نفس المنطقة ربما لا يصل أي جزء منها الى الماء الجوفي بسبب الاعتراض، وطالما استمر سقوط المطر فان قدرة النبات على الاعتراض تصبح اقل، وتصل مياه اكثر الى الماء الجوفي او تتحول لتصبح على شكل جريان سطحي.

ان الفقدان بسبب الاعتراض متأثر بعوامل جوية كثيرة خاصة الرياح القوية خلال العاصفة المطرية والتي تعمل على تقليل كمية الاعتراض وبما ان التبخر أثناء العاصفة المطرية يقل فان استمرار العاصفة المطرية يزيد من قدرة الاعتراض للماء. ان قياس عملية الاعتراض يتم بواسطة حساب مساحة المنطقة

المظللة من الشجرة او الغطاء النباتي ومقارنة كمية الاعـتراض فيـها مـع منطقـة أخرى خالية من الغطاء النباتي (شكل 20).



شكل (20) عملية الجريان:

الماء تحت السطحي	=	S	أمطار	=	P
تسرب	=	I	اعتراض	=	V
تعويض الماء الجوفي	=	R	تخزين منخفضات	=	D
تخزين الضفاف	=	B	جريان سطحي	=	O
			قنوات أمطار	=	C

ان قياس الاعتراض لماء المطر من قبل غابة متطورة يؤكد اعتراض 20-40٪ من كمية الأمطار الساقطة في العاصفة المطرية الواحدة، ويعتمد ذلك أيضا على نوع الأشجار، ففي استراليا مثلا يعترض شجر اليوكالسيوس 2-3٪ فقط من كمية الأمطار اما أشجار الغابات في النرويج فتعترض حوالي 25٪ من كمية الأمطار، وبعض الأشجار في كاليفورنيا تعترض حوالي 40٪.

وقد حدد هورتون Horton عملية الاعتراض من خلال عاصفة هوائية واحدة على الشكل التالي.

$$I = a + bP^{n}$$

حيث ان Iهي الاعتراض و p هي الأمطار بينما a , b , n هي ثوابت لأنواع الأشجار وهي على الشكل التالي :

Vegetation		a	b	n
Orchards	البساتين	0.04	0.18	1.00
Oak Woods	البلوط	.05	.18	1.00
Maple Woods	القبقب	0.04	0.18	1.00
Willow Shrubs	الصفصاف	0.02	0.40	1.00
Hemlock and pine wood	الصنوبر	0.05	0.20	0.50
Clover and Meado wgrass	المروج	0.005	0.08	1.00
Sambl grains , rye, wheat , barley	الحبوب	0.05	0.05	1.00

كذلك وجد بأن اشجار الصنوبر تعترض ما نسبته 25٪ من مجموع التساقط الثلجي في السنة.

اما الأمطار الساقطة على الأرض وبعد ان يتم ترطيب التربة فان المياه تبدأ في الجريان على سطح الأرض في خيوط (مسيلات) مائية صغيرة لا تلبث ان تتحد في قنوات اكبر، وهكذا حتى تصل الى المجاري المائية الكبيرة، فتكون ما يعرف بالجريان المائي **Surface Runoff**.

الجريان المائي السطحي

يعرف الجريان السطحي **Surface runoff** بانه كمية الأمطار التي تزيد عن قدرة امتصاص التربة نتيجة استمرار وزيادة كمية الأمطار عن معدلات التسرب والتبخر، اي بعد وصول التربة الى مرحلة ما بعد الاشباع، حيث يبدأ الماء بالجريان على سطح الأرض تبعا لدرجة انحدار السطح، الى ان تصل المياه الى أحد المجاري المائية فيصبح جزءاً منه.

أما الجريان تحت السطحي **Interflow** فهو كمية محدودة من مياه الأمطار التي تسربت الى اسفل طبقة التربة والتي يمكن ان يوجد تحتها طبقة غير منفذة للماء **Impermiable**(صماء) او طبقة قليلة النفاذية، وبعد ان تتشبع تلك الطبقة بالماء، فان الماء يبدأ بالتحرك حسب ميل تلك الطبقة الى ان يخرج الى المجرى المائي.

كما يعرف الجريان الجوفي **Ground water flow** بانه كمية من مياه الأمطار التي تتسرب الى الطبقات الحاملة للماء **Aquifer** ويخرج على شكل ينابيع بعد ان تتقاطع الطبقة الحاملة للماء الجوفي مع سطح الماء في المجرى المائي، ويطلق عليه وبخاصة في فصل الصيف جريان الأساس **Baseflow**.

محطات قياس التصريف المائي :

ان تطبيق العمليات الفنية من أجل الحصول على بيانات دقيقة عن الظواهر الهيدرولوجية المختلفة في حوض مائي معين، بحاجة لنقاط جغرافية معينة لتقوم بهذا العمل. وبما أن البيانات المائية مهمة لكافة النشاطات البشرية، فانه لابد من اقامة محطات رصد مائية على الأنهار للقيام بقياس مستويات الماء وكمياته وتذبذبها من فصل لآخر ومن سنة لأخرى، وذلك من أجل حساب الفائض أو العجز المائي في أراضى ذلك الحوض المائي وبالتالي في دولة معينة.

وتتكون المحطة عادة من مبنى خاص بالمحطة وأجهزتها، حيث تحتوي المحطة على الأجهزة الخاصة بالقياس والمعدات اللازمة للقيام بهذه المهمة بالاضافة الى ضرورة وجود فني مختص باجراء القياسات الضرورية. وتقام المحطات المائية عادة على الأنهار الدائمة الجريان لأن اقامة محطات رصد مائية على أودية مؤقتة الجريان هي في النهاية عملية غير مجدية من الناحية الاقتصادية.

وتسمى هذه المحطات بالمحطات الهيدرومترية وتسجل باستمرار التغير والتذبذب في المستوى المائي، والتصريف المائي، والعمق، والعرض، والفيضان.... الخ في مقطع عرضي أو أكثر من ذلك على طول مجرى النهر.

والمحطة المائية المناسبة للدراسة والتحليل هي تلك المحطة التي توفر البيانات لمدة تزيد عن العشرين عاما. وكل محطة تتأثر وتواجه مجموعة من الصعوبات منها :

- التقارب الكبير للمشاريع المائية، مثل بحيرات السدود والجسور الضيقة وغيرها.
- عدم ثبات سرير النهر أفقيا وعموديا.

- غياب الحساسية الهيدروليكية لتغيرات مستوى المقاطع العرضية التي تؤدي الى اختلاف في كثافة التصريف المائي.
- صعوبة الوصول الى أقرب طريق للمواصلات.

وعند القيام بتوزيع محطات رصد التصريف المائي على روافد الشبكة المائية يجب أن يراعى ما يلي :

- في المقاطع الطويلة والتي لا يمر فيها أحد الروافد المهمة يجب ان يكون الفرق بين محطتين متتاليتين في القراءة لمتوسط التصريف المائي مختلف بحوالي 20٪.
- عند التقاء الروافد الرئيسية يجب أن يكون على الرافد الرئيسي نقطة قياس أو محطة مائية في الحوض الأعلى وأخرى قريبة من مصبه، ويجب أن يكون الفرق أيضا في قراءة التصريف بين المحطتين على الأقل 20٪.
- من أجل تحديد موقع المحطة المائية فانها تعطى اسماً وغالبا ما يكون هذا الاسم هو اسم النهر نفسه او تعطى اسما يتناسب مع الاسم الجغرافي للمنطقة.
- بالاضافة لما ذكر يجب أن يكون معروفاً مساحة حوض تصريف كل محطة مائية.
- تضاف المساحة الموجودة بين كل محطة مائية وأخرى لمعرفة مجموع مساحة الحوض.
- تحسب كثافة المحطات في الدولة بقسمة عدد المحطات على مساحة الدولة.

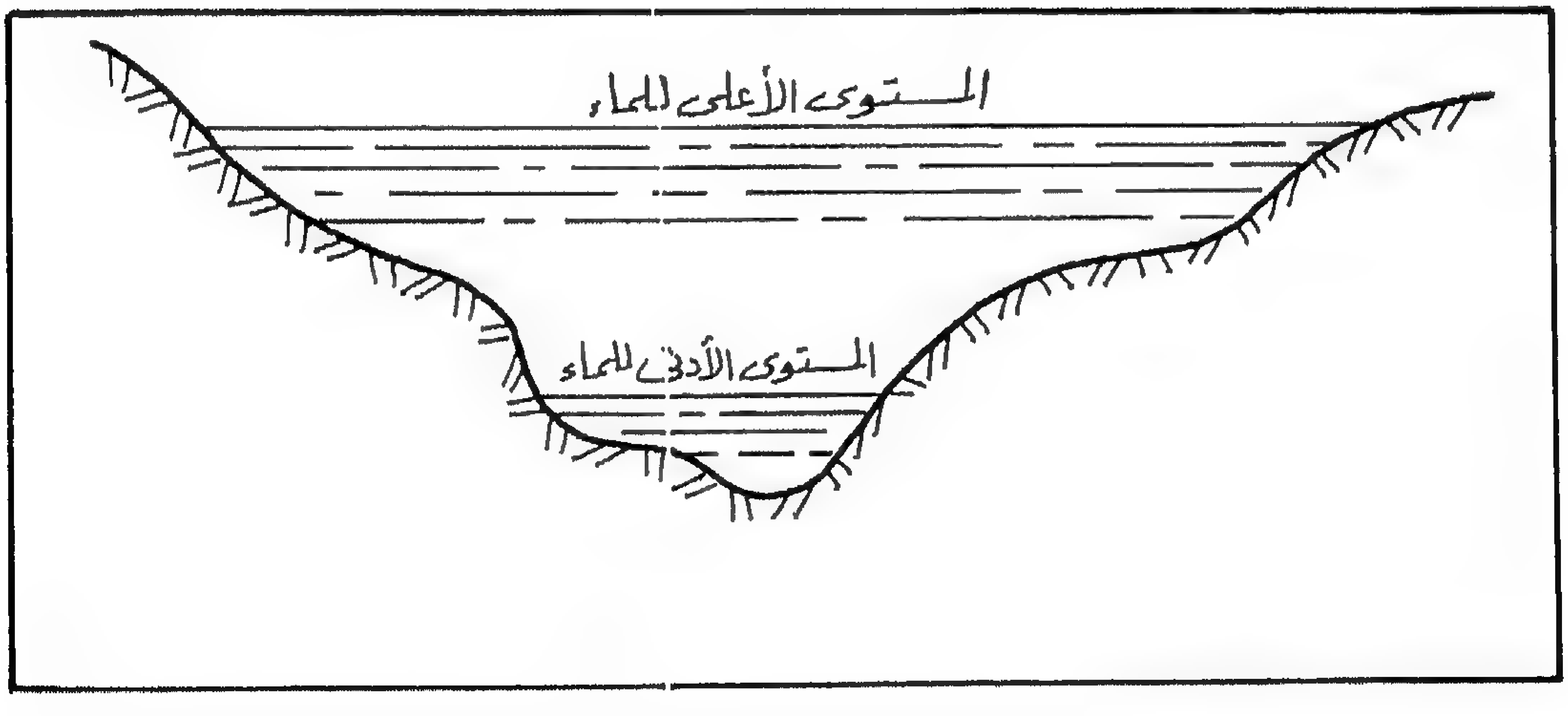
ففي بلد مثل رومانيا والتي تبلغ مساحتها 237.5 ألف كم^2 يوجد 765 محطة مائية لنهر الدانوب وروافده، فتكون كثافة المحطات في هذا الدولة كالتالي:

ك = $\frac{7665}{237500} = \frac{1}{322}$ أي أن هناك محطة مائية لكل 322 كم^2 في هذه الدولة.

قياس مستوى التيارات المائية السطحية :

تعني كلمة مستوى الماء، منسوب أي نقطة على سطح الماء الجاري في وقت معين بالنسبة لسطح البحر، ويقاس مستوى الماء في المحطة المائية من خلال قامة مدرجة مثبتة عند محطة القياس (الشكل 21).

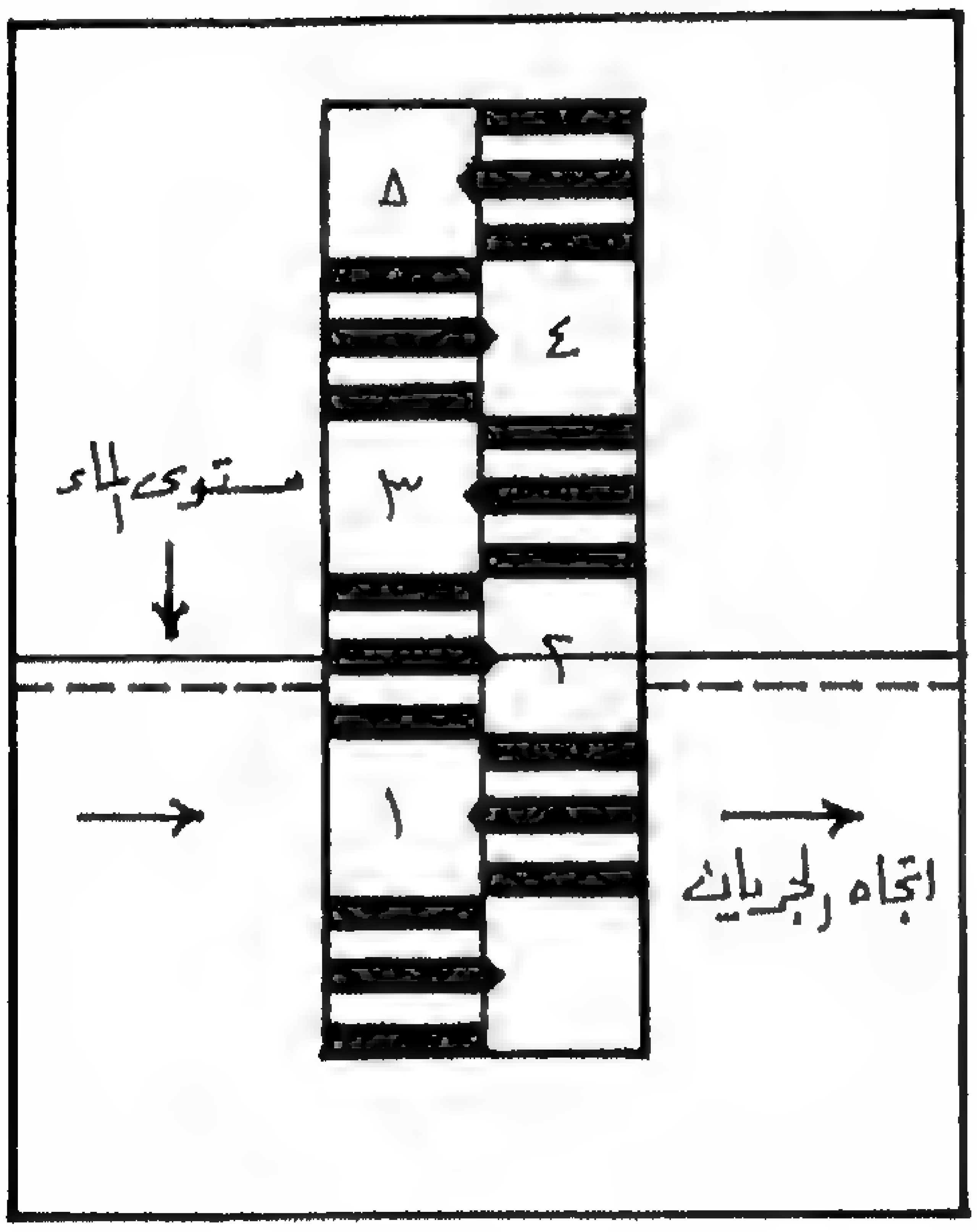
حيث ان خط الماء الحر في المقطع يجب أن يكون أفقيا، مع انه لا يكون كذلك دائما، ومصطلح مستوى Level و مصطلح عمق Depth هما مصطلحان مختلفان لأن العمق له علاقة مع شكل السرير، بينما يمكننا أن نحصل على قيم متعددة للعمق في مقطع عرضي واحد للماء او لمستوى واحد للتيار المائي (الشكل 21).



شكل (21) تغير مستوى الماء في المجرى المائي

- **الشاخصة المائية :**

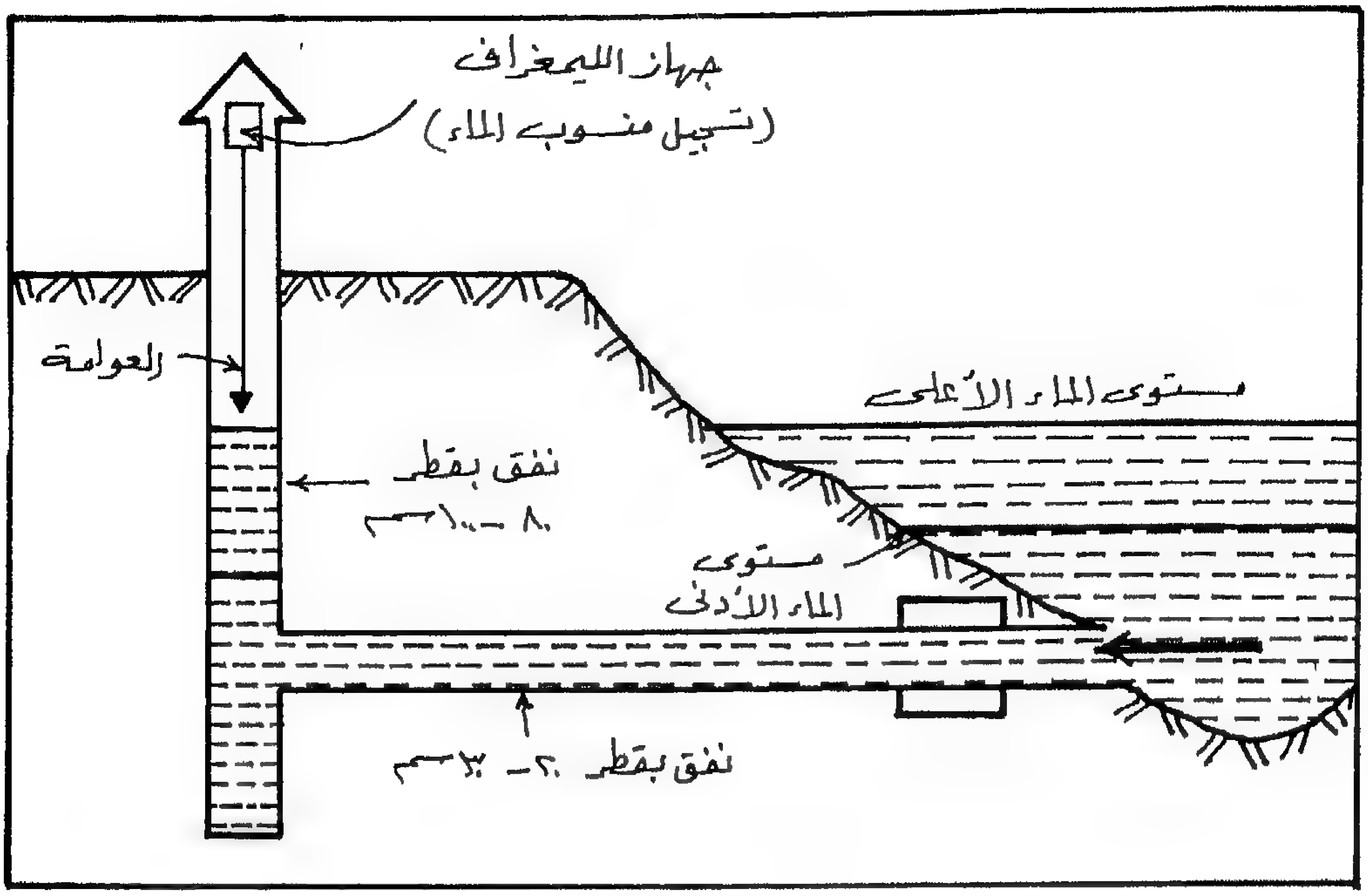
وهي تشبه الى حد كبير الشاخصة الطبوغرافية. والشاخصة المائية البسيطة مكونة من صفائح من المعدن مقسم من 2-2سم وأكثر من مؤشر للاسم، وتثبت الشاخصة المائية في وسط تيار الماء العادي بحيث لا تؤدي الى تغيير في مجرى التيار المائي أو الى حدوث دوامات مائية تؤدي الى تغير في اتجاه الماء، ويجب أن يكون وضعها ثابت لا يتغير خلال الفترة التي تبقى فيها الشاخصة في المجرى المائي. (الشكل 22).



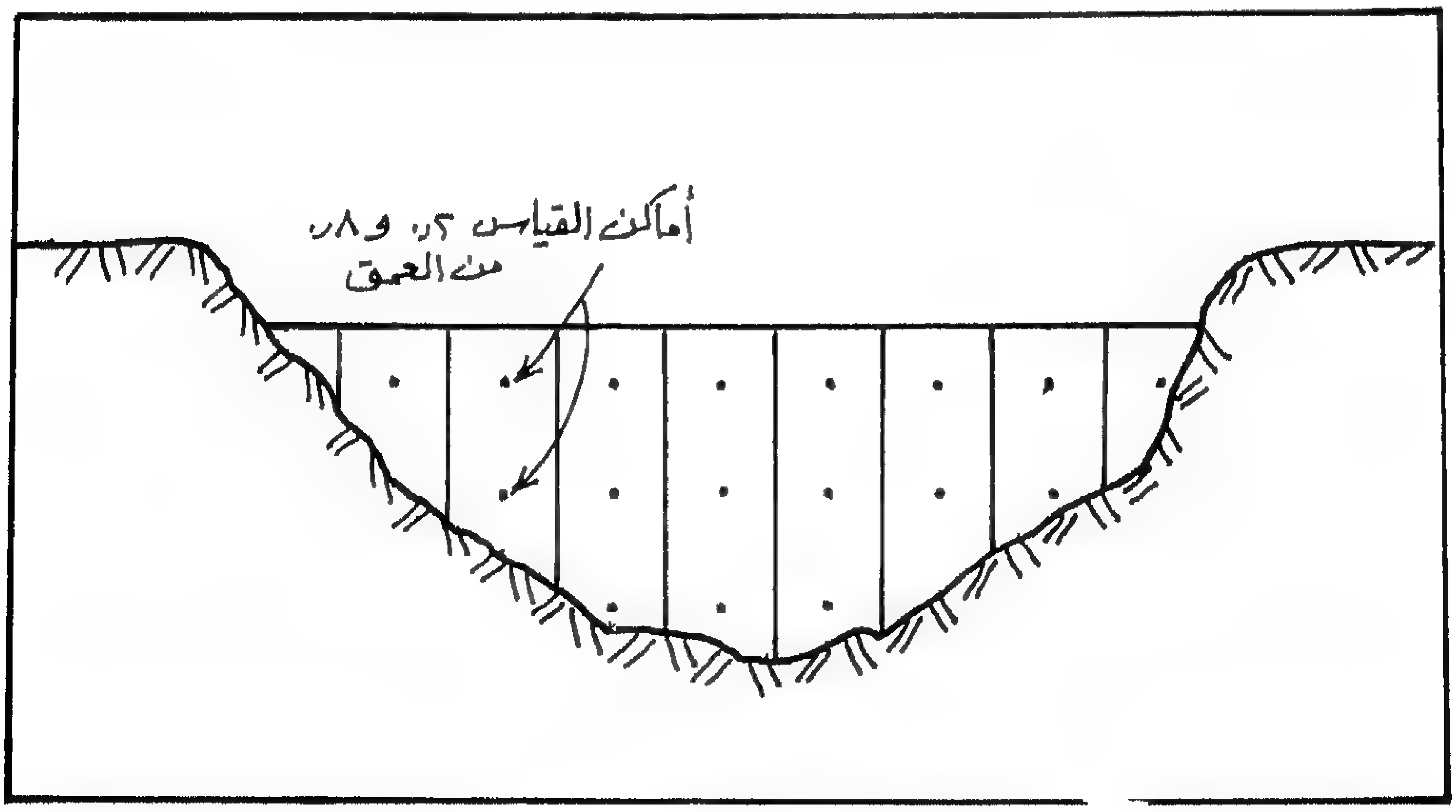
شكل (22) الشاخصة البسيطة لقياس مستوى الماء الجاري

- **جهاز تسجيل منسوب سطح الماء في المجرى:**

يستعمل جهاز تسجيل منسوب سطح الماء (الليمنجراف Limnigraf) لمعرفة تغير مستوى سطح الماء في مجرى النهر، يوضع جهاز الليمنجراف في غرفة (كابينة) صغيرة خاصة وذلك لحمايته من العوامل الجوية والعبث من قبل الآخرين، ويتم حفر نفقين الأول عمودي بقطر 80سم – 100سم بحيث يوضع جهاز الليمنجراف فوقه تماماً، ويتصل هذا النفق العمودي بنفق أفقي يتصل بمجرى النهر وبقطر 20–30سم ويكون هناك خزان مائي بعد طرف المجرى يتم تنظيف النفق من أي رواسب تدخل الى النفق فتعيق دخول الماء وبذلك يبقى ماء النهر متصلا بالنفق العمودي عن طريف النفق الأفقي. وحسب قانون الأواني المستطرقة فان مستوى الماء في النفق العمودي سيكون على نفس مستوى الماء في مجرى النهر، وينزل من جهاز الليمنجراف عوامة Floot حساسة لتغيير مستوى الماء فترتفع مع ارتفاع مستوى الماء وتنخفض مع انخفاضه. وهذه العوامة مرتبطة بورقة مليمترية تدور على بكرة مرتبطة بساعة وبوجود مؤشر محبّر باستمرار. ونتيجة دوران البكرة ذات الورقة المليمترية يتم رسم خط بياني كل 24 ساعة، ويمثل تغيّر منسوب سطح الماء خلال اليوم. وفي اليوم التالي يتم تبديل الورقة الميلمترية وتحليل الخط البياني وتسجيله كبيانات رقمية. (الشكل 23)



شكل (23) جهاز قياس تغير مستوى الماء (الليمنجراف)



شكل (24) أماكن قياس سرعة الماء في المجرى

قياس سرعة الجريان المائي:

يتم تقسيم المجرى المائي الى مقاطع عرضية متساوي ويتم انزال جهاز قياس سرعة التيار المائي في اماكن القياس وهي على عمق 0.2 و 0.8 من العمق الكلي في كل مقطع عرضي، ويحسب متوسط سرعة جريان الماء في كل مقطع عرضي على أساس معدل سرعة التيار على العمق الأول والثاني (شكل 24). وتقاس سرعة الماء بواسطة جهاز الـ Current meter (شكل 25).

قياس التصريف المائي :

يتكون النظام النهري من مجموعة من العناصر هي التصريف (Q) Discharge المنسوب level والانحدار slope وسرعة الماء Vilocity. والتصريف المائي هو كمية الماء المارة من مقطع عرضي معين في مجرى النهر خلال زمن مقداره ثانية واحدة ومقدراً بالمتر المكعب او القدم المكعب.

أما المنسوب فهو ارتفاع الماء في النهر ويقدر بالمتر او بالسم. وتقدر سرعة الماء بالمتر/ث. والانحدار النهري هو الفرق بين مستوى نقطتين على سطح الماء في مجرى النهر.

ويقاس التصريف النهري عادة كما في المعادلة التالية :

$$Q = VW$$

حيث أن:

Q = التصريف م^3 / ث.

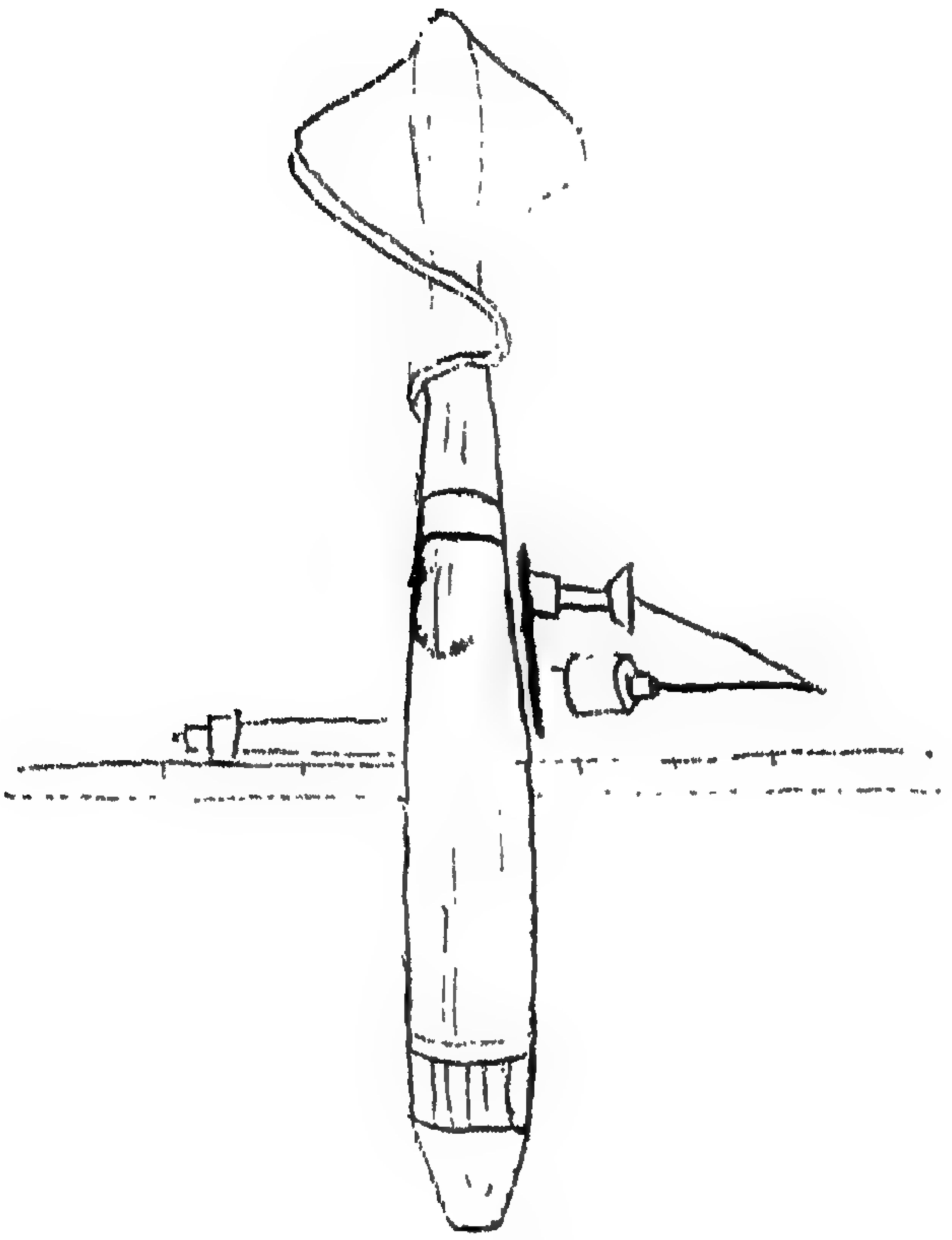
V = سرعة الماء.

W = مساحة المقطع العرضي للمجرى النهري.

خطوات قياس التصريف المائي :

يتكون جدول التصريف المائي من العناصر التالية.

1. البعد عن نقطة البداية عند ضفة النهر/م Distance from initial point/m.
2. العرض/ م، حيث يتم تقسيم المقطع العرضي للنهر الى مقاطع عرضية متساوية Wedth.
3. العمق/م، يتم قياس العمق لكل نقطة عرض تم تحديدها depth.
4. يتم استخراج عدد الدورات وزمنها بالثواني لاستخراج السرعة المعدلة وذلك من خلال جهاز قياس السرعة.
5. يتم استخراج السرعة م/ث. من خلال جدول خاص يسمى بجدول (ON ROD).
6. يتم حساب مساحة كل مقطع عرضي من خلال ضرب العرض في العمق.
7. يتم استخراج التصريف المائي لكل مقطع عرضي جزئي وذلك بضرب السرعة المعدلة في المساحة.
8. يتم جمع مساحة المقاطع العرضية الجزئية لاستخراج مساحة المقطع العرضي الكلي للنهر.
9. يتم جمع كميات التصريف المائي للمقاطع العرضية الجزئية لاستخراج التصريف المائي الكلي للنهر.



شكل (25) جهاز قياس سرعة الماء

ON ROD (2) جدول

in Secs.	1 REV.	2 REV.	3 REV.	5 REV.	10 REV.	20 REV.	30 REV.	40 REV.	50 REV.	60 REV.	70 REV.	80 REV.	90 REV.	100 REV.	150 REV.	200 REV.	in Secs.
40	0.026	0.045	0.063	0.092	0.173	0.337	0.502	0.654	0.830	0.998	1.165	1.329	1.496	1.661	2.491	3.321	40
41	0.026	0.045	0.060	0.089	0.171	0.328	0.490	0.63[illegible]	0.809	0.974	1.138	1.297	1.460	1.622	2.431	3.241	41
42	0.026	0.042	0.060	0.089	0.168	0.319	0.478	0.63[illegible]	0.792	0.950	1.111	1.266	1.425	1.583	2.373	3.163	42
43	0.026	0.042	0.060	0.086	0.162	0.314	0.466	0.621	0.773	0.929	1.084	1.237	1.392	1.547	2.321	3.089	43
44	0.026	0.042	0.057	0.083	0.159	0.303	0.457	0.607	0.75[illegible]	0.908	1.060	1.206	1.359	1.511	2.267	3.016	44
45	0.026	0.042	0.057	0.083	0.155	0.302	0.448	0.595	0.741	0.887	1.037	1.180	1.329	1.479	2.217	2.948	45
46	0.026	0.042	0.057	0.083	0.152	0.296	0.439	0.382	0.726	0.866	1.012	1.156	1.299	1.446	2.169	2.882	46
47	0.024	0.042	0.054	0.080	0.149	0.290	0.430	0.570	0.720	0.849	0.992	1.132	1.272	1.416	2.124	2.822	47
48	0.024	0.042	0.054	0.077	0.146	0.284	0.421	0.559	0.696	0.830	0.971	1.108	1.246	1.386	2.079	2.763	48
49	0.024	0.039	0.054	0.077	0.143	0.277	0.413	0.547	0.681	0.812	0.950	1.084	1.222	1.356	2.034	2.706	49
50	0.024	0.039	0.051	0.077	0.140	0.271	0.403	0.535	0.666	0.798	0.932	1.063	1.198	1.325	1.992	2.656	50
51		0.039	0.051	0.074	0.137	0.269	0.394	0.522	0.655	0.783	0.914	1.043	1.174	1.302	1.953	2.605	51
52		0.039	0.051	0.074	0.137	0.263	0.385	0.514	0.642	0.767	0.896	1.021	1.150	1.279	1.918	2.557	52
53		0.039	0.048	0.072	0.134	0.257	0.379	0.507	0.630	0.753	0.878	1.004	1.129	1.254	1.882	2.509	53
54		0.039	0.048	0.072	0.131	0.254	0.373	0.496	0.618	0.738	0.860	0.986	1.108	1.231	1.846	2.462	54
55		0.039	0.048	0.072	0.128	0.248	0.368	0.487	0.607	0.726	0.846	0.968	1.087	1.209	1.813	2.417	55
56		0.036	0.048	0.069	0.128	0.245	0.362	0.478	0.595	0.713	0.830	0.950	1.069	1.189	1.781	2.375	56
57		0.036	0.048	0.069	0.125	0.239	0.356	0.469	0.585	0.702	0.815	0.932	1.052	1.168	1.750	2.313	57
58		0.036	0.045	0.066	0.122	0.236	0.350	0.460	0.576	0.690	0.801	0.917	1.034	1.147	1.721	2.294	58
59		0.036	0.045	0.066	0.122	0.233	0.344	0.451	0.567	0.678	0.786	0.902	1.015	1.126	1.690	2.255	59
60		0.036	0.045	0.066	0.120	0.230	0.337	0.442	0.559	0.666	0.773	0.887	0.998	1.108	1.659	2.217	60
61		0.036	0.045	0.066	0.117	0.224	0.331	0.436	0.550	0.655	0.761	0.872	0.983	1.091	1.634	2.180	61
62		0.033	0.045	0.063	0.117	0.221	0.325	0.430	0.541	0.645	0.750	0.858	0.968	1.072	1.607	2.144	62
63		0.033	0.042	0.063	0.114	0.219	0.319	0.424	0.532	0.636	0.738	0.843	0.953	1.054	1.583	2.112	63
64		0.033	0.042	0.063	0.114	0.215	0.314	0.418	0.522	0.627	0.726	0.827	0.938	1.040	1.559	2.079	64
65		0.033	0.042	0.060	0.111	0.212	0.308	0.413	0.514	0.618	0.713	0.815	0.923	1.024	1.536	2.046	65
66		0.033	0.042	0.060	0.111	0.209	0.305	0.407	0.505	0.610	0.702	0.804	0.908	1.009	1.511	2.016	66
67		0.033	0.042	0.060	0.108	0.206	0.302	0.400	0.496	0.601	0.693	0.792	0.893	0.995	1.488	1.986	67
68		0.033	0.042	0.060	0.108	0.203	0.299	0.394	0.490	0.592	0.684	0.780	0.881	0.980	1.467	1.956	68
69		0.033	0.039	0.057	0.105	0.200	0.296	0.388	0.484	0.582	0.675	0.767	0.869	0.965	1.446	1.927	69
70		0.033	0.039	0.057	0.105	0.197	0.293	0.382	0.47[illegible]	0.573	0.666	0.756	0.858	0.950	1.425	1.900	70

مثال : نهر (X) تم قياس مقطعه العرضي فوجد بأنه 10م، ثـم نقـوم بـالخطوات السابقة ذكرها كما هو في المثال التالي :

البعد عن نقطة البداية/م Distance from initial point /m	العرض م width/m	العمق م Depth/m	عدد الدورات Revolution	الوقت/ث Time/second	السرعة المعدلةم/ث Adjust velocity m/s	المساحة م² Area /m²	تصريف الماءم³/ث Discharge m³/s
0.00	0.5	—	—	—	—	—	—
1.00	1.00	0.30	20	55	0.248	0.30	0.0744
2.00	1.00	0.55	20	58	0.236	0.50	0.12998
3.00	1.00	0.70	20	63	0.219	0.70	0.1533
4.00	1.00	0.85	20	70	0.197	0.85	0.16745
5.00	1.00	1.05	20	70	0.197	1.05	0.2068
6.00	1.00	1.05	20	70	0.197	1.05	0.2068
7.00	1.00	0.80	20	55	0.248	0.80	0.1984
8.00	1.00	0.45	20	55	0.248	0.45	0.1116
9.00	1.00	0.20	20	53	0.257	0.20	0.0514
10.00	1.00	0.10	20	53	0.257	0.10	0.0257
						6.00	1.3256

ويبدو من خلال الجدول السابق (X) أن التصريف المائي للنهر Q = 1.325 م³/ث، وأن مساحة المقطع العرضي للمجرى المائي هو 6م².

العلاقة بين المطر والجريان المائي Rainfall Runoff correlation

لا تعتبر العلاقة بين المطر والجريان المائي مباشرة، فهي علاقة غير مباشرة بعكس العلاقة بين الجريان وكل من التبخر والاعتراض **Interception** وخزن المنخفضات والرشح ونقص رطوبة التربة فهي علاقة مباشرة. ويمكن اقامة علاقة تجريبية **Imperical** للحوض النهري مبنية على أساس التساقط السنوي والجريان،ومن الأفضل هنا استعمال السنة المائية بدلا من السنة التقويمية لاقامة هذه العلاقة والسنة المائية هي الفترة التي يبدأ فيها جريان الأساس وتنتهي خلال اثنى عشر شهرا.

توجد بعض المعادلات التي وضعها بعض الباحثين توضح العلاقة التجريبية بين التصريف المائي للأنهار (Q) وبين كمية الأمطار الساقطة (P)، كما يلي :

-1 $Q = 16\ P^2$

-2 $Q = 0.48\ (P - 635)$

-3 $Q = 043\ (P - 386)^2$

اما معامل الجريان فيمكن ايجاده عن طريق نسبة التصريف المائي الى كمية الأمطار الساقطة كما في المعادلة التالية :

$$a = \frac{Q}{P}$$

حيث أن:

a = معامل الجريان.

Q = كمية التصريف المائي.

p = كمية الأمطار السنوية.

وفي حالة الأحواض المائية الصغيرة يمكن استخدام معامل الجريان كما في المعادلة التالية :

$$a = \frac{Q}{P} = \frac{P-E}{P} = 1 - \frac{E}{P}$$

حيث أن:

a = معامل الجريان.

Q = التصريف المائي.

P = تساقط

E = تبخر

واذا ما أخذنا جميع عناصر الجريان المائي الرئيسية فان كمية التصريف يمكن حسابها كما في المعادلة التالية :

$$Q = P - I - S$$

حيث أن:

Q = التصريف المائي م^3/ث.

P = كمية الأمطار ملم/ سنة.

I = الرشح السنوي.

S = كمية المياه المخزونة مضاف اليها التبخر.

أساليب تحليل البيانات الهيدرولوجية :

قبل الخوض في تحليل البيانات الهيدرولوجية لابد من التعرف على عناصر منحنى تصريف الماء الطبيعي Components of a natural hydrograph. فجريان الأساس مرتبط باسهام المياه الجوفية في جريان النهر.

ويشبـه منحنـى التصريـف المـائي بشكـل عـام للجريـان المنحنـى الأسـي Exponential curve ويمكن تمثيله في المعادلة التالية :

$$QE = Qoe\text{-}at$$

حيث أن:

Q_o = التصريف في فترة البداية.

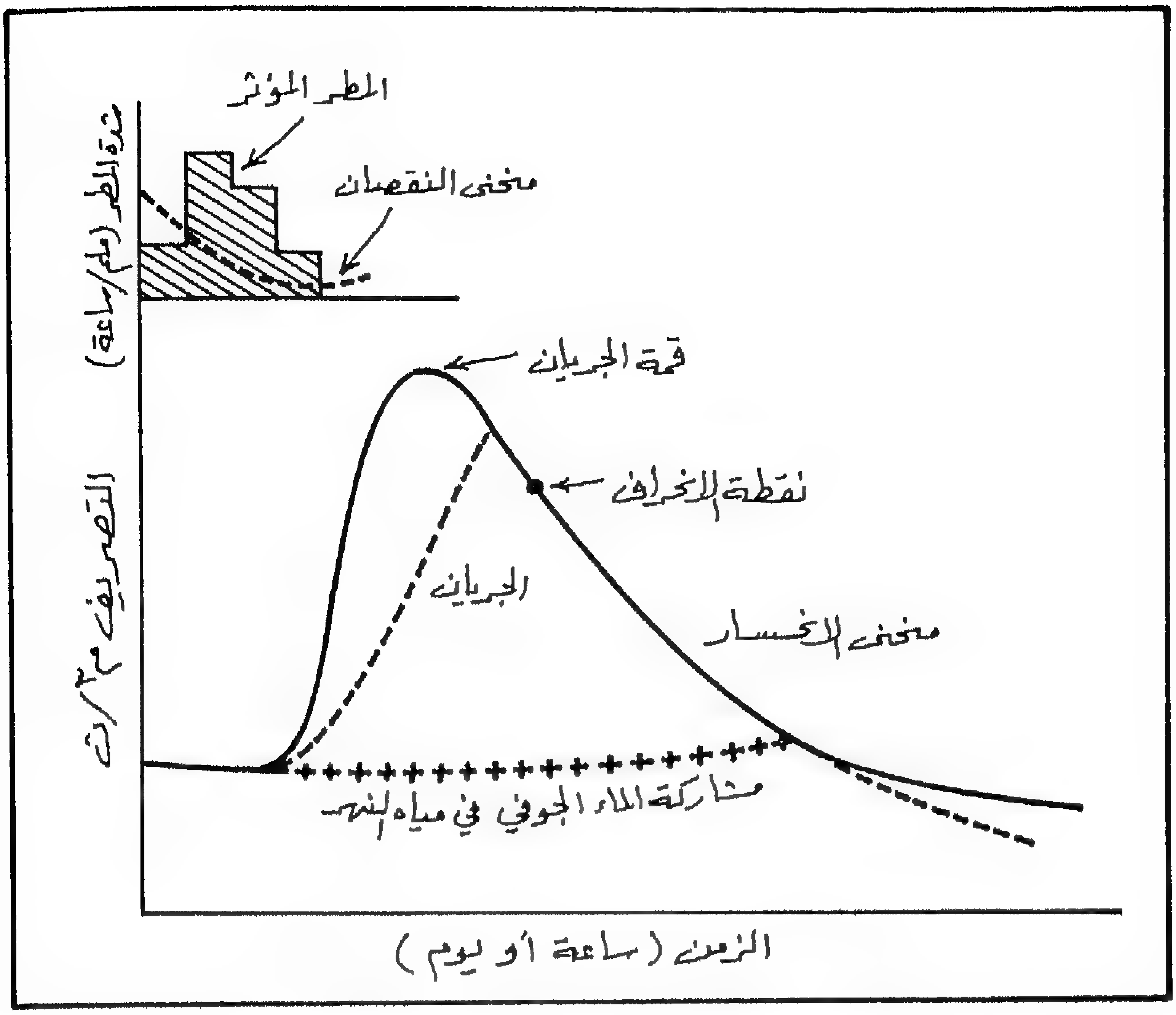
Q_E = التصريف في نهاية الوقت t

a = معامل الجريان.

e = أساس اللوغاريتم الطبيعي.

ففي حالة عاصفه مطرية تبدأ عناصر الاعـتراض Interception بالتأثير على الماء الجاري قبل أن يصل الى قنوات الأودية ومـن ثـم الأنـهار، لكـن ومـع استمرار سقوط الأمطار فان عملية الاعتراض سوف تأخذ في التناقص تدريجيا.

فبعد فقدان كمية من المياه نتيجـة عمليـة الاعـتراض في بدايـة العاصفـة المطرية يبدأ الجريان السطحي ويستمر في الزيادة الى أن يصل الى الذروة ثم يبدأ المنحنى بالانحسار حتى يختفي. لكـن الأمطـار الـتي تسـربت (رشحـت) الى المـاء الجوفي ستعمل على رفع مستوى الماء الجوفي الذي يساهم بدورة في رفـع كميـة جريان الأساس في نهاية العاصفة المطرية أكثر من بدايتها. فالهيدروغراف يعـرف بأنـه المنحنـى البيـاني النـاتج عـن توقيـع البيانـات الدالـة علـى تغير التصريـف Discharge، او تغير مستوى سطح الماء مع الزمن (شكل 26).



شكل (26) عناصر منحنى الجريان المائي

ويسمى الجزء من المنحنى الناتج عن الجريان السطحي والباطني بمنحنى الجريان المباشر Direct Run off Hydrograph ويمكن اختصارها على النحو التالي :DRH ويساعد وصول هذا الماء المباشر في صعود المنحنى حتى يصل الى الذروة. ويعتمد ذلك على نسبة اقصر تصريف مائي الى شدة سقوط المطر وديمومته (فترة سقوط المطر)، كما يعتمد أيضا على الخصائص الطبيعية لمنطقة سقوط الأمطار.

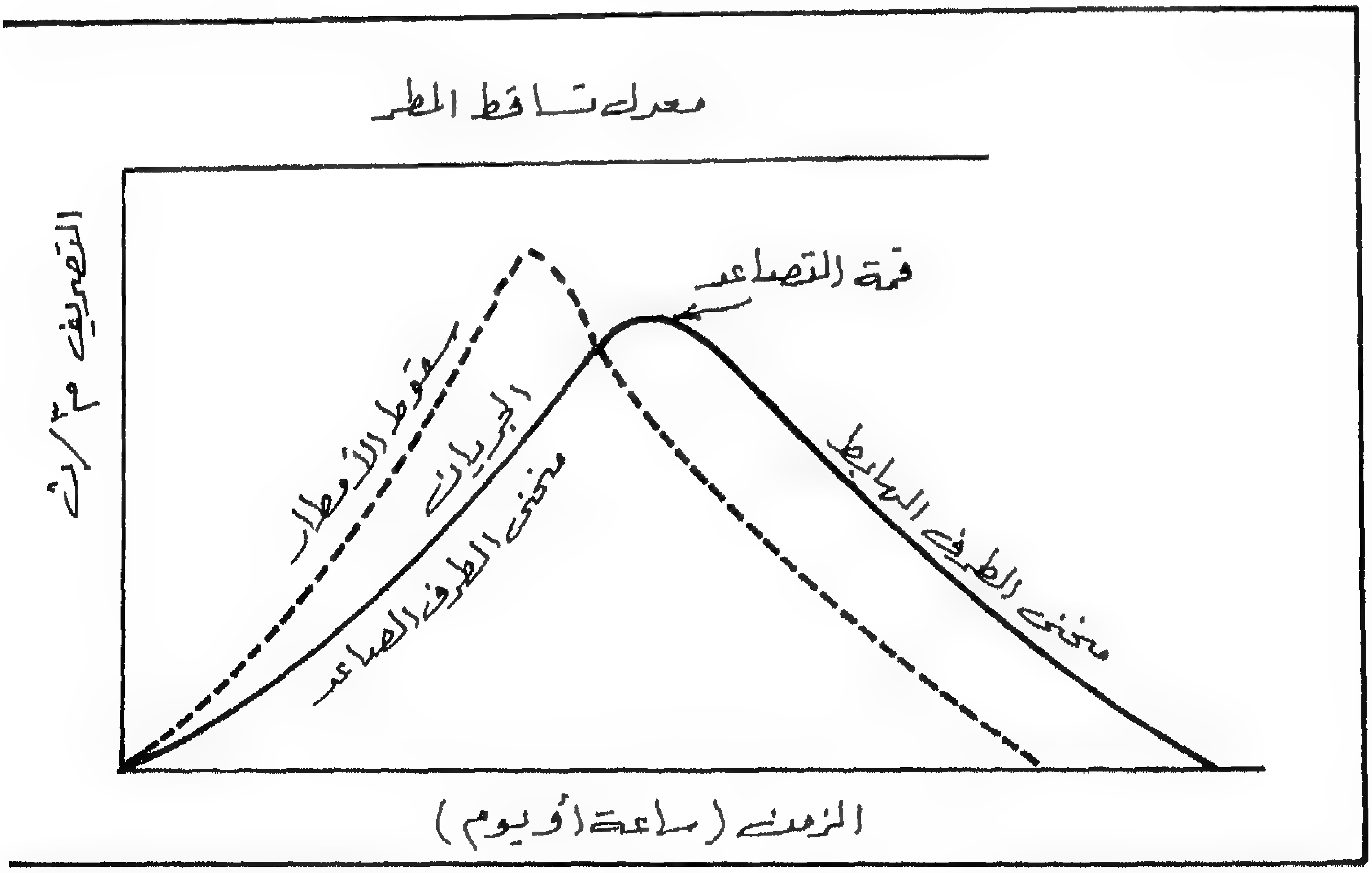
تبعاً لما تقدم فان سقوط المطر سيصل الى ذروته في نهاية العاصفة المطرية وبعد ذلك تبدأ الأمطار بالانحسار ويبدأ منحنى التصريف بالهبوط تبعا لهبوط كميات الأمطار (شكل 26).

وبناء على ذلك يمكن القول بأن شكل المنحنى يتحدد بثلاثة أجزاء رئيسية هي :

1. الطرف الصاعد Rising Limb من المنحنى ويدعى أحياناً بمنحنى التركيز Concentration curve ويعبر عن الفترة الزمنية التي حدث خلالها تجميع المياه وجريانها الى ان تصل الى أعلى مستوى لها (شكل 27).

2. قمة المنحنى Crest Segment يوضح هذا الجزء من المنحنى منطقة تجميع وتراكم المياه والفترة الزمنية التي وصل فيها التركيز (الجريان) الى أعلى مستوى له (شكل 27)

3. الطرف الهابط من المنحنى Falling Limb ويعبر عن بداية تناقص الجريان والفترة الزمنية التي تم خلالها ذلك التناقص الى أن يصل الجريان الى مستوى جريان الاساس (شكل 27).



شكل (27) مكونات منحنى الجريان المائي

تحليل التصريف المائي :

يتذبذب التصريف اليومي للأنهار بشكل واضح، وذلك اعتماداً على تذبذب كميات الأمطار بين شهر وآخر وسنة وأخرى، كما يعتمد على تذبذب تدفق المياه الجوفية المشكلة لمنابع الأنهار. واذا كان النهر يقع في اقليم يتوقف فيه سقوط الأمطار في الصيف، فان التصريف اليومي يتساوى مع تصريف الأساس إلا أنه يتغير في بقية الفصول.

يقسم التصريف المائي الى ثلاثة أقسام رئيسية هي :

1. جريان الأساس **Base flow**
2. تصريف المعدل اليومي للجريان **Daily main flow**
3. تصريف الفيضان **Flod flow**

تصريف الأساس أو تصريف الشح Base Flow Discharge :

يعتبر تصريف الأساس ظاهرة طبيعية للأودية ذات التصريف الدائم، وهو تصريف ذو طبيعة متذبذبة، لأنه يعتمد على تذبذب مستوى الماء الجوفي **Water Table**.

ففي حالة وادي الموجب (على سبيل المثال) نجد أن تصريف الأساس يبقى المغذي الوحيد لجريان المياه في فترة طويلة تمتد من شهر نيسان وحتى شهر تشرين أول أو تشرين ثاني. أي أن هناك فترة جفاف طويلة تمتد لستة أشهر سنوياً على الأقل، وأحياناً تمتد فترة الجفاف لثمانية أشهر. بالاضافة الى أن قسماً

كبيرا من أراضي الحوض (حوالي 60٪) تقع ضمن المنطقة الصحراوية القليلة الأمطار أصلا. حيث بلغ المعدل السنوي للأمطار في محطة القطرانة 97ملم. بينما تصل نسبة المنطقة التي تهطل فيها أمطار أقل من 250ملم حوالي 79٪ من أراضي الحوض . ونظراً لقلة الأمطار فان تأثيرها يصبح أكثر وضوحا عند مقارنة تصريف الأساس مع معدل التصريف اليومي، حيث يتساوى كلا التصريفين في أشهر حزيران وتموز وآب وأيلول. الا في بعض الحالات النادرة حيث تتعرض المنطقة الى تذبذب في وقت هطول الأمطار وكمياتها.

وبما أن مياه الأمطار ترفع من مستوى النطاق المائي في فصل الشتاء، فان التصريف المائي يزداد في كل من كانون ثاني وشباط وآذار وذلك نظرا لأن مياه الأمطار التي رفعت مستوى النطاق المائي أدت الى زيادة غزارة مياه الينابيع.

ويزداد معدل تصريف الأساس منذ شهر تشرين أول وحتى شهر آذار على التوالي للسنة المطرية كما يلي: 0.062، 0.098، 0.187، 0.238، 0.226، 0.233 ويعود تصريف الأساس بعد ذلك للانخفاض في شهر نيسان الى 0.196 والى 0.192 في شهر أيار وهكذا يوالي تصريف الأساس انخفاضه حتى يصل الى 0.057 م^3/ث في شهر أيلول. (جدول 3).

وبينما يبلغ معدل تصريف الأساس لسنوات الدراسة 0.143م^3/ث فان أعلى تصريف أساس يبلغ 2.37م^3/ث. ومعدل أدنى تصريف اساس 0.019م^3/ث كما أن أعلى معدل لتصريف الأساس بلغ 0.67 م^3 /ث في شهر كانون أول للسنة المائية 72/73. (جدول 3).

وقد تراوح الانحراف المعياري لتصريف الأساس بين 0.04 في شهر أيلول و 0.32 في شهر أيار حيث يزداد الانحراف المعياري تدريجيا من الخريف وخلال أشهر الشتاء وحتى نهاية فصل الربيع. (جدول 3).

أما معامل التغير فقد سجل أعلى قيمة له في شهر تموز حيث وصل 187٪ ، ووصلت أقل قيمة له في شهر تشرين ثاني، ومن الملاحظ أن معامل التغير يكون معتدلاً منذ نهاية الخريف وحتى نهاية الربيع تقريباً، بينما يكون مرتفعاً في أشهر الصيف.

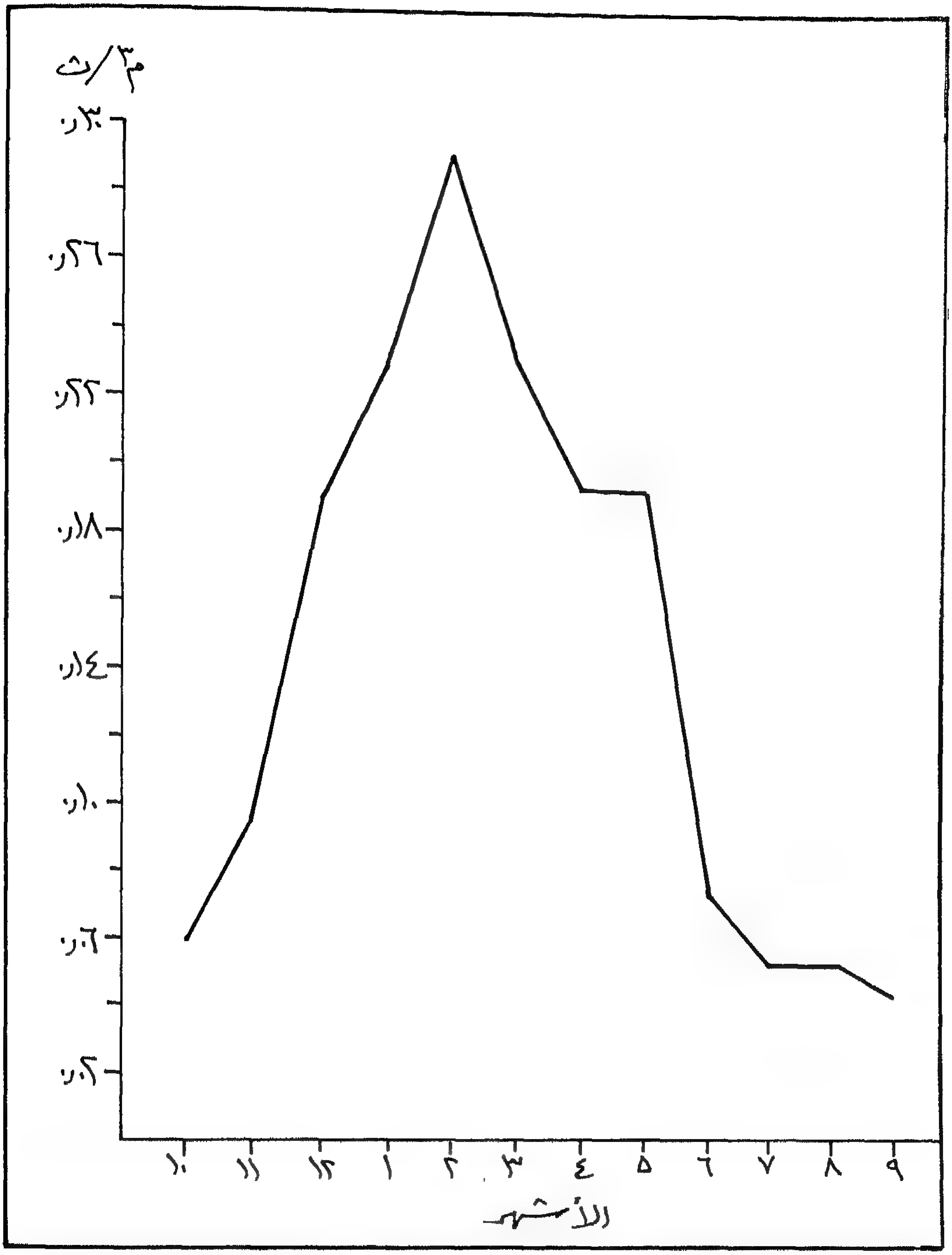
كما يبلغ تصريف الأساس أعلى قيمة له في فصل الشتاء 0.651م^3/ث، بينما ينخفض الى 0.621م^3/ث في فصل الربيع ويتناقص الى الثلث تقريبا في فصل الصيف ليصبح حوالي 0.626م^3/ث بينما في فترة الشح (فصل الخريف) يصل تصريف الأساس الى أدنى مستوياته حيث يبلغ 0.18م^3/ث. (شكل 28)، (جدول 3).

جدول رقم (3)

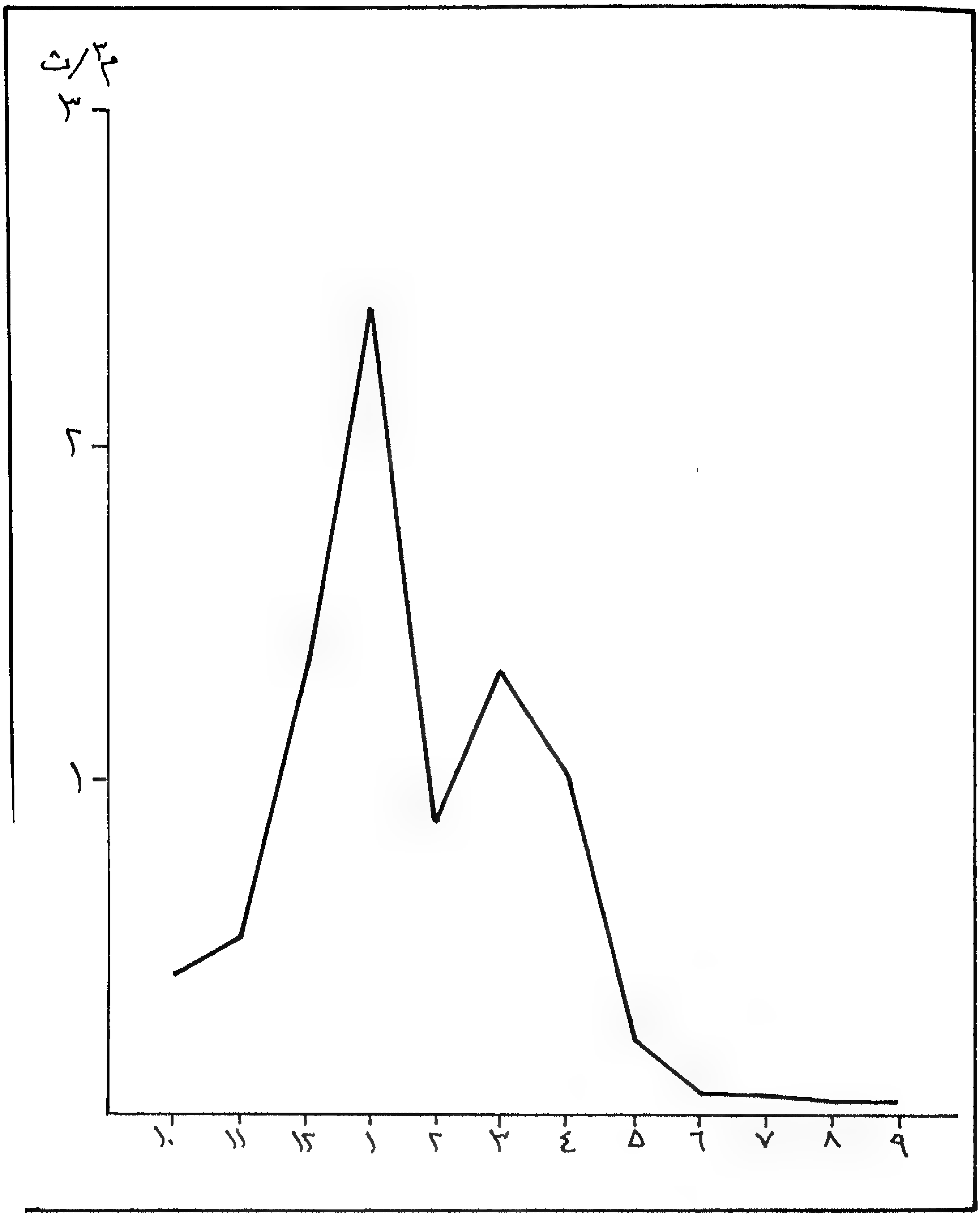
معدل تصريف الأساس لوادي الموجب خلال الفترة (65/64 – 92/91) م^3/ث

الشهر / السنة	١٠	١١	١٢	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
١٩٦٥/٦٤	٠,٠	٠,٠٦	٠,١٣	٠,٢٧	٠,٢٢	٠,٢٣	٠,١٤	٠,١٠	٠,١٠	٠,٨	٠,٥	٠,٠
٦٦/٦٥	٠,٠	٠,٠	٠,٢١	٠,١	٠,٢٦	٠,٢٥	٠,١٨	٠,١٥	٠,١٠	٠,٨	٠,٠٨	٠,١٢
٦٧/٦٦	٠,٣٩	٠,٦٠	٠,٥٤	٠,٢١	٠,٣١	٠,٦٤	٠,٢٣	٠,١٤	٠,١٤	٠,١٣	٠,١١	٠,١١
٦٨/٦٧	٠,١٧	٠,٢٨	٠,٣٢	٠,٣٤	٠,٣٥	٠,٣١	٠,٢٣	٠,٢٠	٠,١٠	٠,٠٧	٠,٠٣	٠,٠٢
٦٩/٦٨	٠,٠٨	٠,١٦	٠,٢٥	٠,٢٤	٠,٢٠	٠,٢٣	٠,٢٦	٠,٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٧٠/٦٩	٠,٠٦	٠,١١	٠,١٧	٠,٢٠	٠,١٥	٠,٢٧	٠,١٣	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	٠,١٠
٧١/٧٠	٠,٠٧	٠,١١	٠,٢٢	٠,٣٤	٠,١٩	٠,١٧	٠,١٨	٠,١٥	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠٥
٧٢/٧١	٠,٠١	٠,٠١	٠,٥٤	٠,٥٣	٠,٣٧	٠,٤٢	٠,٣١	٠,٢٠	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١
٧٣/٧٢	٠,٠١	٠,١١	٠,٦٧	٠,٤٨	٠,١٤	٠,١٤	٠,١٦	٠,١٠	٠,٠٥	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٤
٧٤/٧٣	٠,٠٣	٠,١٦	٠,٠٦	٠,٢٧	٠,٢٨	٠,٢٦	٠,١٧	٠,١٥	٠,١٢	٠,٩	٠,٠٧	٠,٠٧
٧٥/٧٤	٠,٠	٠,٠٧	٠,١٦	٠,٢٢	٠,٢١	٠,٢٢	٠,٢٠	٠,١٠	٠,٠٥	٠,٠٢	٠,٠٢	٠,٠٢
٧٦/٧٥	٠,٢٠	٠,٢٠	٠,٢٠	٠,٢٠	٠,١٨	٠,٢١	٠,١٩	٠,١٣	٠,١٠	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٨
٧٧/٧٦	٠,٠٩	٠,١٢	٠,١٧	٠,٢٣	٠,١٩	٠,١٣	٠,١٨	٠,١٦	٠,١٢	٠,٠٩	٠,٠٧	٠,٠٩
٧٨/٧٧	٠,٠٩	٠,١٠	٠,١٢	٠,١٣	٠,١٥	٠,١٥	٠,١٧	٠,١٤	٠,١٣	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٨
٧٩/٧٨	٠,٠٩	٠,١٠	٠,١٤	٠,٢٣	٠,٢١	٠,٢٤	٠,١٨	٠,١١	٠,٠٤	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠١
٨٠/٧٩	٠,٠	٠,٠	٠,٢٢	٠,٢٣	٠,٣١	٠,٢٨	٠,١٧	٠,٠٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٨١/٨٠	٠,٠	٠,٠	٠,١١	٠,١٣	٠,١٧	٠,٢٢	٠,٠٩	٠,٠٤	٠,٠١	٠,٠	٠,٠	٠,٠٦
٨٢/٨١	٠,٠	٠,٠	٠,٠١	٠,١١	٠,١٦	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠	٠,٠
٨٣/٨٢	٠,٠	٠,٠٨	٠,٢٠	٠,٢٦	٠,٣٩	٠,١٩	٠,٠٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٨٤/٨٣	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,١٦	٠,١٦	٠,٢٧	٠,٤٥	٠,٣٧	٠,٢٣	٠,١٨	٠,١٣	٠,٠٨	٠,٠٦
٨٥/٨٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٥٤	٠,٥٩	٠,٥٨	٠,٥٦	٠,٤٦	٠,٢٢	٠,٠١	٠,٠٨	٠,١٥
٨٦/٨٥	٠,٠٨	٠,٠١	٠,١٤	٠,١٦	٠,١٧	٠,١٨	٠,١٧	٠,١٦	٠,١١	٠,٠٨	٠,٠٥	٠,٠٥
٨٧/٨٦	٠,٠٥	٠,١١	٠,١٢	٠,١٠	٠,٠٩	٠,١٥	٠,١٨	٠,١٤	٠,١٢	٠,٠٩	٠,٠٧	٠,٠٧
٨٩/٨٨	٠,٠٩	٠,١٢	٠,١٢	٠,١٤	٠,١٤	٠,١٤	٠,١٤	٠,١٢	٠,١٠	٠,٠٩	٠,٠٩	٠,٠٨
٩٠/٨٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠١	٠,١١	٠,١٩	٠,١٨	٠,١٨	٠,٠٣	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٩٢/٩١	٠,٠٢	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠٣	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٢	٠,٠	٠,٠
المجموع	١,٦٩	٢,٦٦	٥,٠٥	٦,٤٢	٦,١١	٦,٣١	٥,٢٨	٥,١٩	١,٩٥	٤,١٣	١,٥٤	١,١٥
الانحراف المعياري	٠,٠٨	٠,١٢	٠,١٦	٠,١٣	٠,١١	٠,١٢	٠,١٢	٠,٣٢	٠,٠٦	٠,٢٨	٠,٠٩	٠,٠٤
معامل التغير ٪	١٣٣	١٢	٨٤	٥٦	٤١	٥٢	٦٣	١٦٨	٨٦	١٨٧	١٨٠	١٠٠

* لم يتم تسجيل التصريف منذ العام المائي ٩٢/٩١ وحتى ١٩٩٦/٩٥م.



شكل (28) تصريف الأساس



شكل (29) التصريف اليومي

التصريف اليومي Daily Mean Discharge:

يعتمد كل من التصريف الشهري والتصريف الفصلي على معدل التصريف اليومي والذي بدوره يعتمد على تصريف الأساس لوادي الموجب، مضافا اليه كميات الأمطار الهاطلة على الحوض والتي تصل مجرى النهر مباشرة عن طريق الجريان المباشر Runoff دون دخولها الى الطبقات الحاملة للماء الجوفي.

وهذا فان معدل التصرف اليومي يتساوى مع تصريف الأساس لوادي الموجب في أشهر حزيران وتموز وآب وأيلول (جدول 3، 4). بينما يبدأ الجريان المائي يتضح منذ شهر تشرين أول حيث يبدأ هطول الأمطار على مناطق مختلفة من أراضي الحوض.

يظهر أثر جريان مياه الأمطار ووصولها لمجرى وادي الموجب وارتفاع مستوى الماء الجوفي الذي يساعد في زيادة كمية التصريف لفترة تتعدى فصل الشتاء أحيانا، حيث يستمر تدفق مياه الينابيع التي تشكل فيما بعد مجمل الجريان طيلة أشهر فصل الربيع تقريباً، رغم أن فترة هطول الأمطار تكون قد انتهت تقريباً، أو أن كميات الهطول التي تحدث في أوائل فصل الربيع تكون بكميات قليلة مقارنة بفصل الشتاء مما يقلل من أثرها على التصرف اليومي لمياه الموجب.

يبلغ معدل التصريف اليومي لوادي الموجب 0.693م^3/ث، وهذا يعني أنها تزيد عن معدل تصريف الأساس لنفس الفترة بمقدار 0.550م^3/ث. وهي كمية مياه لا بأس بها نسبياً، وتقدر سنوياً بـ 17.345 مليون متر مكعب، في

حين أن كمية المياه التي يصرفها وادي الموجب تقدر بـ 24.92 مليون متر مكعب سنويا. ويتراوح الحد الأدنى للتصريف اليومي لوادي الموجب في أشهر الصيف بين 0.00 و 0.01 م^3/ث، بينما يصل أقصى تصريف يومي له في شهر آذار اذ بلغ 9.36 م^3/ث. (شكل 29) (جدول 3).

وبالنظر الى الشكل (29) نجد أن معدل التصريف اليومي انخفض في شهر شباط بشكل حاد (0.09 م^3/ث) ثم عاود الارتفاع بشكل واضح في شهر آذار ليصل الى 1.39م^3/ث، ويعود السبب في ذلك الى حدوث المنخفضات الخماسينية في هذا الشهر وباستمرار مما يعمل على زيادة التصريف اليومي بشكل واضح حيث وصل التصريف اليومي في 1988/3/8 الى 212.25 م^3/ث وفي يوم 1988/3/4 الى 67.92 م^3/ث بينما كان أعلى تصريف يومي في شهر شباط من العام نفسه هو 19.6م^3/ث في يوم 1988/2/2، وهكذا اذا نظرنا الى البيانات الاحصائية لهذين الشهرين لوجدنا هذا التناقص الناتج عن منخفضات البحر الأحمر التي تزيد من التصريف اليومي لوادي الموجب.

أما اذا أخذنا معدل التصريف اليومي لكل فترة الدراسة، فان أدنى تصريف لوادي الموجب يصل الى 0.039 م^3/ث في شهر أيلول و 0.04 م^3/ث في شهر آب و 0.05 م^3/ث في شهر تموز. ويزيد معدل التصريف اليومي في أشهر الشح أحيانا (فصل الخريف) على معدل التصريف اليومي لأشهر الصيف، وذلك لسقوط أمطار غزيرة أحيانا تؤدي الى حدوث فيضان وترفع من معدل التصريف اليومي ففي شهر تشرين أول عام 1966 بلغ معدل التصريف اليومي لذلك الشهر 3.01 م^3/ث، بينما لم يتم تسجيل أي تصريف يذكر خلال هذا الشهر في سبع سنوات من فترة الدراسة. ولكون أشهر الصيف لا تهطل فيها أمطار، فإن التصريف المائي اليومي فيها أقل من أشهر فصل الخريف.

جدول رقم (4)

المعدل اليومي لتصريف وادي الموجب خلال الفترة (65/64– 92/91) م^3/ث

الشهر / السنة	١٠	١١	١٢	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
١٩٦٥/٦٤	٠,٠	٠,٠٦	٠,١٣	٤,٣٤	٠,٢٢	٠,٢٤	٠,٤٥	٠,١٠	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٥	٠,٠
٦٦/٦٥	٠,٠	٠,٠	٠,٢١	٠,٢٤	٠,٣١	٠,٨٨	٠,١٨	٠,١٥	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٨	٠,١٢
٦٧/٦٦	٣,٠١	٥,٢٢	٢,٠٨	٠,٧٨	٠,٣١	٢,٣٩	٠,٢٣	١٤,٠	٠,١٤	٠,١٣	٠,١١	٠,١١
٦٨/٦٧	٠,١٧	٢,٦٦	٠,٤٩	١,١٥	٠,٦١	٣١.	٠,٢٣	٨١.	٠,١٠	٠,٠٧	٠,٠٣	٠,٠٢
٦٩/٦٨	٠,١٥	٠,٦٩	٠,٦٤	٠,٣٢	٠,٢٠	٥,١٢	٠,٢٦	٠,٠٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٧٠/٦٩	٠,٠٥	٠,١١	٠,١٧	٠,٢٠	٠,١٥	٣,٠٦	٠,١٥	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١٤	٠,٠١
٧١/٧٠	٠,٠٧	٠,١١	٠,٢٦	٤,٣١	٠,١٩	٠,٤٢	١٦,٠٤	٠,٤٥	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠٥
٧٢/٧١	٠,٠١	٠,١٣	١٤,٦٨	١,٩٨	٣,٢٧	١,٤٣	٠,٣٣	٠,٤١	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١
٧٣/٧٢	٠,٠١	٠,٣٥	٠,٦٧	١,٥٢	٠,١٤	٠,١٤	٠,١٦	٠,١٠	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠٤	٠,٠٤
٧٤/٧٣	٠,٠٣	٠,١٦	٠,٠٦	١,٣٥	١,٧٤	١,٠٣	٠,١٧	٠,١٥	٠,١٢	٠,٠٩	٠,٠٧	٠,٠٧
٧٥/٧٤	٠,٠	٠,٨٢	٠,١٩	٠,٢٢	٨,٨٦	٠,٢٨	٠,٢٠	٠,١٠	٠,٠٥	٠,٠٢	٠,٠٢	٠,٠٢
٧٦/٧٥	٠,٢٠	٠,٢٠	٠,٢٠	٠,٢٠	٠,١٨	٥,٠٦	٠,١٩	٠,١٣	٠,١٠	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٨
٧٧/٧٦	٠,٠٩	٠,١٢	٠,١٧	٠,٢٣	٠,١٩	٠,١٣	٠,١٨	٠,١٦	٠,١٦	٠,٠٩	٠,٠٧	٠,٠٩
٧٨/٧٧	٠,٠٩	٠,١٠	٠,٢٦	٣,٣٠	٠,١٥	٠,٢٧	٠,١٧	٠,١٤	٠,١٣	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٨
٧٩/٧٨	٠,٠٩	٠,١٠	٠,١٤	٠,٣٥	٠,٢١	٠,٣٣	٠,١٨	٠,١١	٠,٠٤	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠١
٨٠/٧٩	٠,٠	٠,٠	٠,٢٢	٠,٢٣	٠,٣١	٠,٢٨	٠,١٧	٠,٠٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٨١/٨٠	٠,٠	٠,٠	٦,٣٥	٠,١٣	٠,١٧	٠,٦٣	٠,٠٤	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠	٠,٠
٨٢/٨١	٠,٠	٠,٠	٠,١٦	٠,٢٣	٠,٠٤	٧,٠٣	٠,٠١	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٨٣/٨٢	٠,٠	٠,٠	٠,٤٤	٠,٤٠	٠,٢٤	٠,٠٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٨٤/٨٣	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,١٦	٠,١٦	٠,٢٧	٠,٤٥	٠,٣٧	٠,٢٣	٠,١٨	٠,١٣	٠,٠٨	٠,٠٦
٨٥/٨٤	٠,٠	٠,٠	٠,٦١	٠,٥٤	٠,٩٩	٠,٧٤	٠,٥٦	٠,٤٦	٠,٤٢	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٥
٨٦/٨٥	٠,٠٨	٠,١١	٠,٢٦	٠,١٦	٠,١٩	٠,١٨	٠,٢٣	٠,١٦	٠,١١	٠,٠٨	٠,٠٨	٠,٠٥
٨٧/٨٦	٠,٠٥	٠,٣٢	٠,١٩	٠,١٠	٠,٠٦	١,٦	٠,١٨	٠,١٤	٠,١٢	٠,٠٩	٠,٠٧	٠,٠٧
٨٩/٨٨	٠,٧٨	٠,١٢	٣,١٢	٠,١٤	٠,٢٢	٠,١٦	٠,١٣	٠,١٢	٠,١٠	٠,٠٩	٠,٠٩	٠,٠٨
٩٠/٨٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠١	٠,١١	٠,٤٠	٠,٣٩	٠,٨٦	٠,٠٣	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠
٩٢/٩١	٠,٠٧	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٢١	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٢	٠,٠	٠,٠
المجموع	١٠,٩٨	١٢,١١	٣٥,٥٦	٦٥,٦٩	٢٥,١٧	٣٦,٢٨	٢٩,٢٩	٦,٠٥	١,٩٨	١,٤٤	١,٠٩	١,١٩
الانحراف المعياري	١,٢٦	١,١١	٣,٠٦	٧,٧٣	١٠٨٣	٢,١١	٣,٢٦	٠,٣٥	٠,٠٦	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠١
معامل التغير ٪	٢٠٧	٢٣٨	٢٣٢	٣١٨	٢٠٣	١٥٧	٣٠٢	١٥٩	٨٥	٨٠	٩٠	٩٠

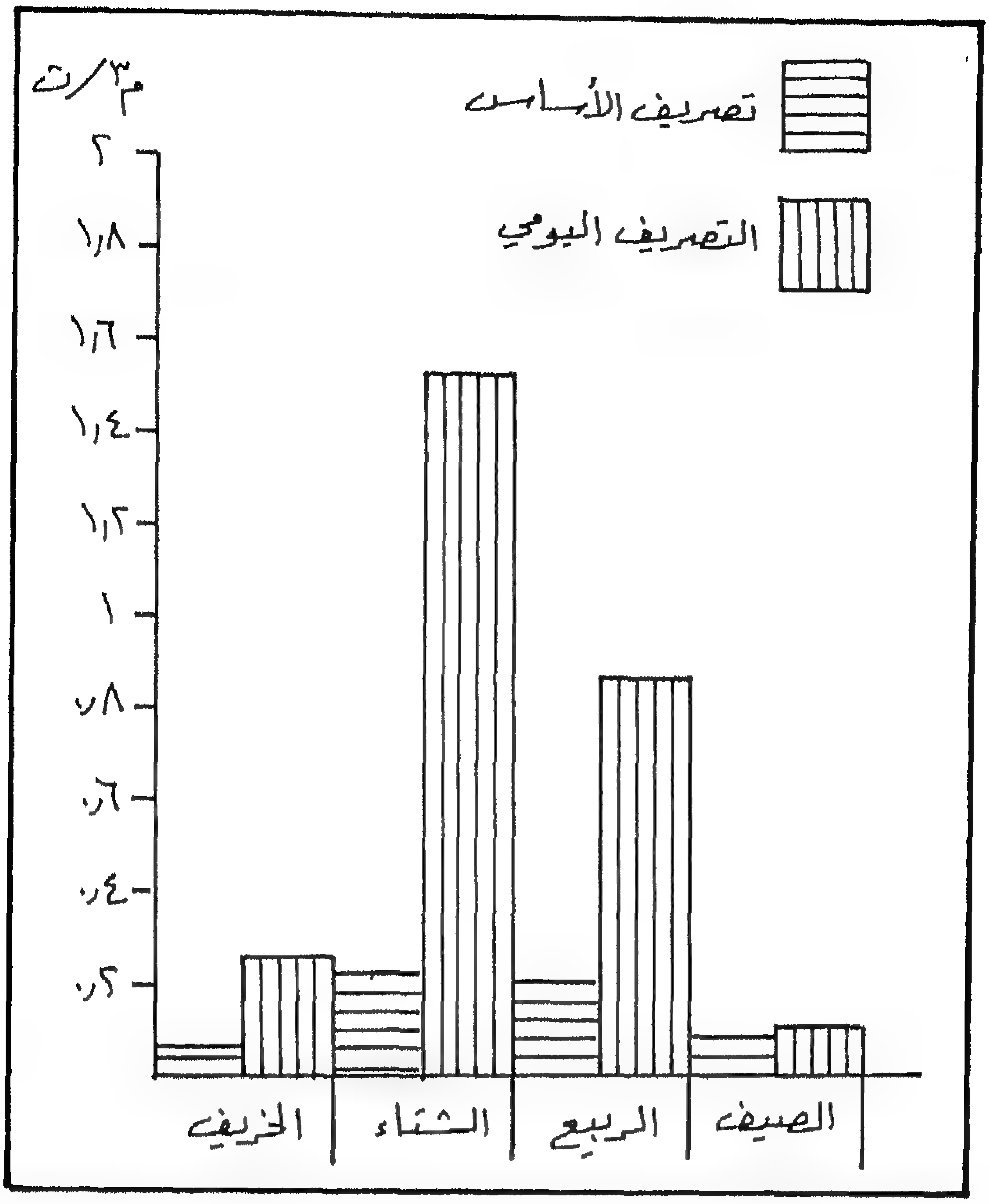
• لم يتم تسجيل التصريف منذ العام المائي ٩٢/٩١ وحتى ١٩٩٦/٩٥م.

أما التصريف الفصلي لمياه وادي الموجب، فيظهر فيه الاختلاف واضح جداً، حيث نجد أن أعلى كميات تصريف تسجل في فصل الشتاء بمعدل 1.75م^3/ث، بينما ينخفض التصريف الفصلي في فصل الربيع الى 0.85م^3/ث ثم في الخريف الى 0.26م^3/ث، بينما يسجل فصل الصيف أدنى تصريف لوادي الموجب حيث يبلغ 0.11م^3/ث فقط. (جدول 5) (شكل 30).

ومن خلال الجدول (4) يتبين أن أكثر السنوات المائية رطوبة كانت السنة المائية 1965/64 حيث سجل أعلى حجم تصريف مائي فيها، اذ وصل الى 11.76م^3/ث، تلتها السنة المائية 88/87 والتي بلغ فيها حجم التصريف المائي 68.24م^3/ث ثم السنة المائية 72/81 حيث بلغ حجم التصريف فيها 59.08م^3/ث وسنة 71/70 وبلغ فيها حجم التصريف السنوي لوادي الموجب 57.6 م^3/ث.

بينما سجلت كميات قليلة في سنوات الجفاف، ففي عام 1991/90م سجل أقل معدل تصريف سنوي خلال فترة الدراسة وصل الى 1.45م^3/ث، وسنة 83/82 بلغ فيها حجم التصريف 3.75م^3/ث. أما الأعوام 77/76 و 79/78 فقد سجل حجم التصريف فيهما على التوالي 4.31م^3/ث و 4.2 م^3/ث. في الوقت الذي بلغ فيه معدل حجم التصريف السنوي 22.12 م م^3.

وقد سجل معدل التصريف اليومي قمة لم تسجل منذ أكثر من ثلاثين عاماً وهي معدل تصريف شهر كانون ثاني من عام 1965 حيث بلغ معدل التصريف لذلك الشهر 40.34م^3/ث. فاذا ما قارنا هذا التصريف بمعدل التصريف اليومي العام (0.393م^3/ث) فان هذا يعني فرقا هائلا، ويعود سبب ذلك لحدوث فيضان كبير في ذلك العام والذي سجلت قمته 632م^3/ث. (جدول 4).



شكل (30) التصريف الفصلي

(جدول5) معدل التصريف الفصلي لوادي الموجب (تصريف الأساس) م^3/ث

	الخريف	الشتاء	الربيع	الصيف
المجموع	0.81	0.651	0.621	0.262
المعدل	0.6	0.217	0.207	0.087

(جدول6) التصريف الفصلي لوادي الموجب (التصريف اليومي) م^3/ث

	الخريف	الشتاء	الربيع	الصيف
المجموع	0.899	4.7	2.56	0.32
المعدل	0.230	1.57	0.85	0.11

تصريف الفيضان Flood Flow Discharge :

ان المجرى الأصغر للنهر هو ذلك الجزء من المقطع العرضي له والذي تغطيه مياه النهر الجارية طيلة أيام السنة، أما المجرى الأعظم، فهو ذلك الجزء من المقطع العرضي لمجرى النهر الذي تغطيه المياه الجارية في فترات الفيضان فقط، وتعود المياه الجارية لتغطي المنطقة المحصورة بين المجريين الأصغر والأعظم حسب كمية تصريف المياه.

ونلاحظ في فيضانات وادي الموجب بعد المقارنة بين الجدولين 3، 4

واستخراج الجدول رقم 5، بانها فيضانات متذبذبة جداً (الشكل 31 أ و ب و ج) ويعود السبب في ذلك الى تذبذب كميات الأمطار الهاطلة ضمن منخفض جوي واحد.

وقد سجل تصريف وادي الموجب شذوذا حادا بتاريخ 18–19–1996/1/20، حيث بلغ تصريف وادي الموجب 631.6م^3/ث (شكل 31) خلال فترة الدراسة. واذا ما قارنا هذه الكمية بمعدل التصريف الذي يبلغ 0.693م^3/ث (أي أن المعدل لم يصل حتى الى المتر المكعب بالثانية)، فاننا نلاحظ أن هناك فرقا شاسعا بينهما، مما يؤكد عدم ثبات التصريف المائي لوادي الموجب، وأن التذبذب في حالة وادي الموجب يصل الى أقصى درجاته، خاصة اذا ما علمنا أن معظم اراضي الحوض تقع في المنطقة الصحراوية من الأردن والتي تتميز بتذبذب شديد في أمطارها.

وبتحليل هذا الفيضان نجد أنه قد بدأ في يوم 1965/1/18 وبتصريف قدره 8م^3/ث، ليرتفع في اليوم التالي الى 631.6م^3/ث وهي قمة الفيضان، ليعود وينخفض مرة أخرى الى 285.5م^3/ث في يوم 1965/1/20 مثلاً كمية تصريف بلغت 0.4م^3/ث (شكل 31) (جدول 6).

وللذلك نجد بأن حجم التصريف السنوي للسنة المائية 1965/64 قد بلغ 111.76م م^3، بينما نجد ان سنوات الجفاف سجلت كمية ضئيلة جداً بلغت في العام المائي 1991/90 فقط 1.45م م^3. وهذا يعني أن مقدار تصريف فيضان عام 65/64 وفي يوم واحد فقط هو أكثر من تصريف الوادي في كل العام المائي 1991/90 وقد بلغ 54.6م م^3. وهذا يعني أيضا أن مقدار أو حجم التصريف

ليوم واحد فقط كان أكثر من حجم التصريف السنوي لعدة سنوات أحياناً، بل لم يصل التصريف لهذا الحجم الا في سنة واحدة وهي في السنة المائية 1988/87 حيث بلغ حجم تصريف ذلك العام 68.24م م^3، وفي العام 1971/71 و 1972/71 حيث سجل حجم التصريف كمية مقدارها على التوالي 57.6 م م^3 و 59.08 م م^3.

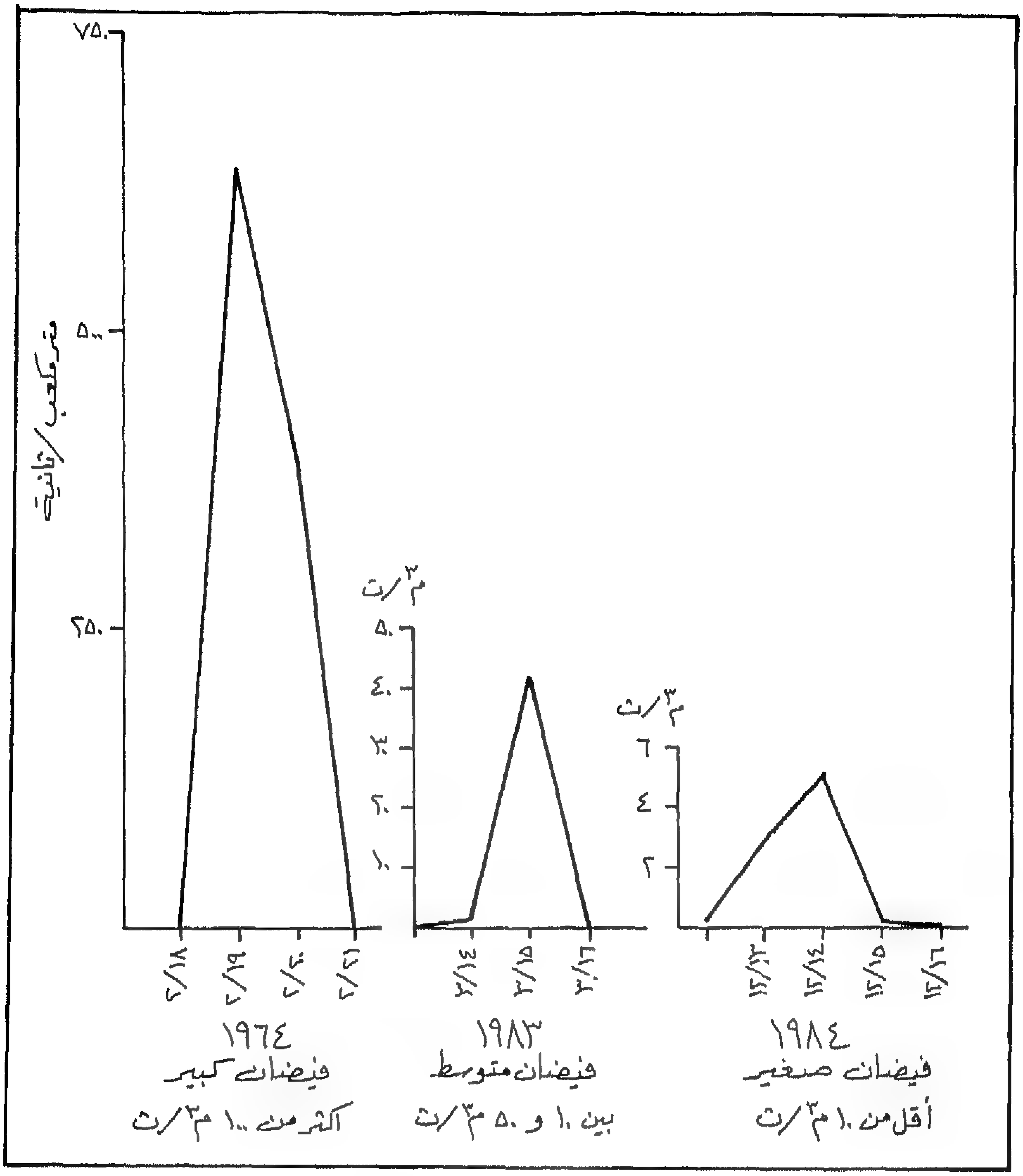
وقد بلغ عدد الفيضانات المسجلة في محطة جسر وادي الموجب 104 فيضانات (جدول 4)، هذا مع العلم أن عدد الفيضانات تتفاوت بين سنة وأخرى، فقد سجلت السنوات المائية 67/66 و 71/72 أكبر عدد من الفيضانات حيث بلغت ثمانية وكانت قمم تلك الفيضانات على التوالي 83.3م^3/ث و 135 م^3/ث. بينما بلغ عدد الفيضانات سبعة في سنتين مائتين وستة في سنتين مائتين وخمسة في سنة مائية واحدة، وأربعة في خمس سنوات، وثلاثة فيضانات في ثمانية سنوات مائية (جدول 4) بينما لم يسجل أي فيضان في سبع سنوات مائية.

وفي الوقت الذي سجل فيه أعلى تصريف فيضان بتاريخ 1965/1/19 وبلغ 631.6م^3/ث، بلغ أدنى تصريف فيضان في فترة الدراسة 0.21م^3/ث بتاريخ 1978/3/13. كما أن أطول فترة فيضان بلغت أربعة عشر يوماً في عام 1967 وبلغت قيمة ذلك الفيضان 26م^3/ث وبدأ بتاريخ 11/16 وانتهى بتاريخ 1967/11/29.

جدول (7) الفيضانات في وادي الموجب وحجم تصريفها (م^3/ث) خلال الفترة (64/65- 90/91)

السنة المائية	عدد الفيضانات	أكبر تصريف فيضان م^3/ث	تاريخه
٦٥/٦٤	٣	٦٣١,٦	١٩٦٦/١/٢٠-١٨
٦٦/٦٥	٢	١٠,١	١٩٦٦/٣/٢٦-٢٠
٦٧/٦٦	٨	٨٣,٢	٦٦/١١/١٤-٩
٦٨/٦٧	٧	٢٦,٠	٦٧/١١/٢٩-١٦
٦٩/٦٨	٧	٧١,٦	٦٩/٣/٢٨-١٩
٧٠/٦٩	٣	٢٩,٢	٧٠/٣/١٤-١٠
٧١/٧٠	٤	٢٤٧,٢	٧١/٤/٢٠-١٢
٧٢/٧١	٨	١٣٥,٠	٧١/١٢/٣١-٢٧
٧٣/٧٢	٢	١٠,٥	٧١/١/١٨-١٣
٧٤/٧٣	٤	٢٩,٢	٧٤/٢/١٣-١١
٧٥/٧٤	٤	١٣٧,٠	٧٥/٢/٢٣-٢١
٧٦/٧٥	١	٩٨,٩	٧٦/٣/١٤-١٢
٧٧/٧٦	-	-	-
٧٨/٧٧	٦	٩٦,٧	٧٨/١/٥-٤
٧٩/٧٨	٢	٣,٢٨	٧٩/١/٩-٧
٨٠/٧٩	٦	٦٠,٣٥	٨٠/٢/٢٦-٢٤
٨١/٨٠	٣	٧٧,٧٤	٨٠/١٢/٢٩-٢٦
٨٢/٨١	٦	١٦٤,٢	٨٢/٤/١٦-١٤
٨٣/٨٢	٣	٣,١٦	٨٣/١/٢٦-٢٣
٨٤/٨٣	-	-	-
٨٥/٨٤	٤	٤,٩٣	٨٤/١٢/١٤-١٣
٨٦/٨٥	٣	١,٥	٨٥/١٢/٢١-١٨
٨٧/٨٦	٣	٤١,٩٤	٨٧/٣/٢٠-١٤
٨٨/٨٧	٥	٩٥,٢١	٨٨/١/٢٢-١٦
٨٩/٨٨	٤	٦٧,٥٩	٨٨/١٢/٣٠-٢٤
٩٠/٨٩	٣	١٠,٥	٩٠/٤/٤-٢
٩١/٩٠	٣	١,٥٤	٩١/١/٢٩-٢٥

(*) لم يتم تسجيل أي فيضان منذ العام المائي ٩٢/٩١ وحتى العام المائي ٩٦/٩٥.



شكل (31) تصريف الفيضان

الفيضانات Floods

الفيضانات احدى الظواهر الطبيعية التي تنشأ بمعظمها عن زيادة كمية التساقط او ذوبان الثلوج عن الحد الذي يمكن ان تستوعبه القنوات النهرية. وقد عانت وما زالت تعاني العديد من المناطق في مختلف أرجاء المعمورة من هذا الخطر. وقد أوحت هذه الظاهرة الطبيعية للقدماء بأن يبتدعوا العديد من الطرق لقياسها والتنبؤ بها، حتى أنهم تقربوا الى الله ليدرء عنهم أخطارها، بأن قدموا القرابين لآلهة تتوسط بينهم وبين مُقدِّر حصولها.

ويتفاوت مفهوم كلمة فيضان **Flood** من مختص الى آخر، حيث ينظر عامة الناس وعلماء الجيومورفولوجيا الى الفيضانات بأنها حالة استثنائية تطغى فيها مياه الأنهار والجداول والسيول على الأراضي المحاذية لمجاريها الطبيعية بسبب زيادة التصريف المائي الناجم عن زيادة طارئة في التساقط او ذوبان الثلوج المتراكمة على بعض اجزاء حوض التصريف المائي.

أما علماء الهيدرولوجيا فلهم تحديد آخر لمفهوم الفيضان، اذ يعتبرون أية زيادة طارئة في التصريف المائي فيضانا.

ويقدر عمر أقدم فيضان حصل على سطح الأرض بنحو **3.8** بليون سنة، وآثار ذلك الفيضان استدل عليها من صخور الكنجلوميريت في جزيرة جرينلند. أما أضخم فيضان تم التعرف عليه حتى الآن، هو ذلك الفيضان الذي حصل قبل **12.000 – 17.000** عام في منطقة شمال غرب الولايات المتحدة، حيث انسابت اثناءه المياه من بحيرة **Missoula** بمعدل **17** مليون م^3/ث. وفي

هذه الفترة كانت الجزيرة العربية تنعم بفترة رطبة. تعرف بحقبة العصر الجليدي الرابع الذي انتهى قبل 15 الف سنة.

ومن أشهر الفيضانات المعروفة لدى الانسان ويتدبر أحداثها فيضان سيدنا نوح عليه السلام قبل 3000 سنة، الذي يعتبر الحد الفاصل بين حقبة عصور ما قبل التاريخ وحقبة عصور ما بعد التاريخ، وقد غمر هذه الفيضان مساحة تقدر بنحو 40.000 ميل2 (6400كم2)، حيث غمرت جميع المدن والقرى بمنطقة ما بين الرافدين، وترك رسوبات من الغرين يقدر سمكها بنحو 11 قدماً (330 سم) قرب أور واريدو.

ولا يغيب عن أذهاننا ما نشاهده عبر شاشات التلفاز من فيضانات تزهق بسببها أرواح العشرات فضلا عما تسببه من دمار البنى التحتية والممتلكات، ويتركز خطر الفيضانات المدمرة حاليا بمنطقة الاقليم الموسمي بجنوب شرق آسيا المتمثلة بدول (الهند، الصين، وباكستان، بنغلادش، بورما، تايلاند....).

أما في الأردن، فقد عانت مدينة عمان نظراً لطبغرافيتها من فيضانات عنيفة تكاد تكون سنوية، كانت تطغى المياه خلالها على المحلات التجارية، وتتحول شوارعها الرئيسية الى مجاري أودية حقيقية، الا أن هذه الظاهرة قد تمت السيطرة عليها كليا، فمنذ عام 1985 لم نشاهد مثل تلك الحالات، بسبب كفاءة نظام تصريف المياه السطحية للعاصمة.

ويعد فيضان مدينة معان الذي حصل عام 1962 اشهر الفيضانات التي حصلت في الأردن في التاريخ المعاصر، حيث طمرت مياه الفيضانات جزء كبيرا من مدينة معان، بسبب تطور حالة عدم استقرار جوي فوق المنطقة.

الآثار الناجمة عن الفيضانات

يبين الشكل التالي الآثار المترتبة على حدوث الفيضانات، اذ يتضح من خلال الشكل أن للفيضانات آثار ايجابية وآثار سلبية.

فقد كان قدماء المصريين يستغلون تلك الفيضانات لغايات الري وخزن مياه الفيضانات في رقع أرضية منخفضة يستغلونها عند تراجع مياه النهر، كما ان طغيان مياه النهر على جوانب المجرى يؤدي الى زيادة المخزون الجوفي في المنطقة، حيث تتمتع السهول الفيضية بطاقة استيعاب عالية جداً، وتتميز أيضا بنفاذيتها العالية، كما تساهم الفيضانات في انعاش النباتات الطبيعية المحاذية للمجرى، فتزيد من كثافتها وتطيل من عمر بقائها، بالاضافة الى تزويد الترب المجاورة بالمخصبات الطبيعية التي تساعد على زيادة التاجيتها.

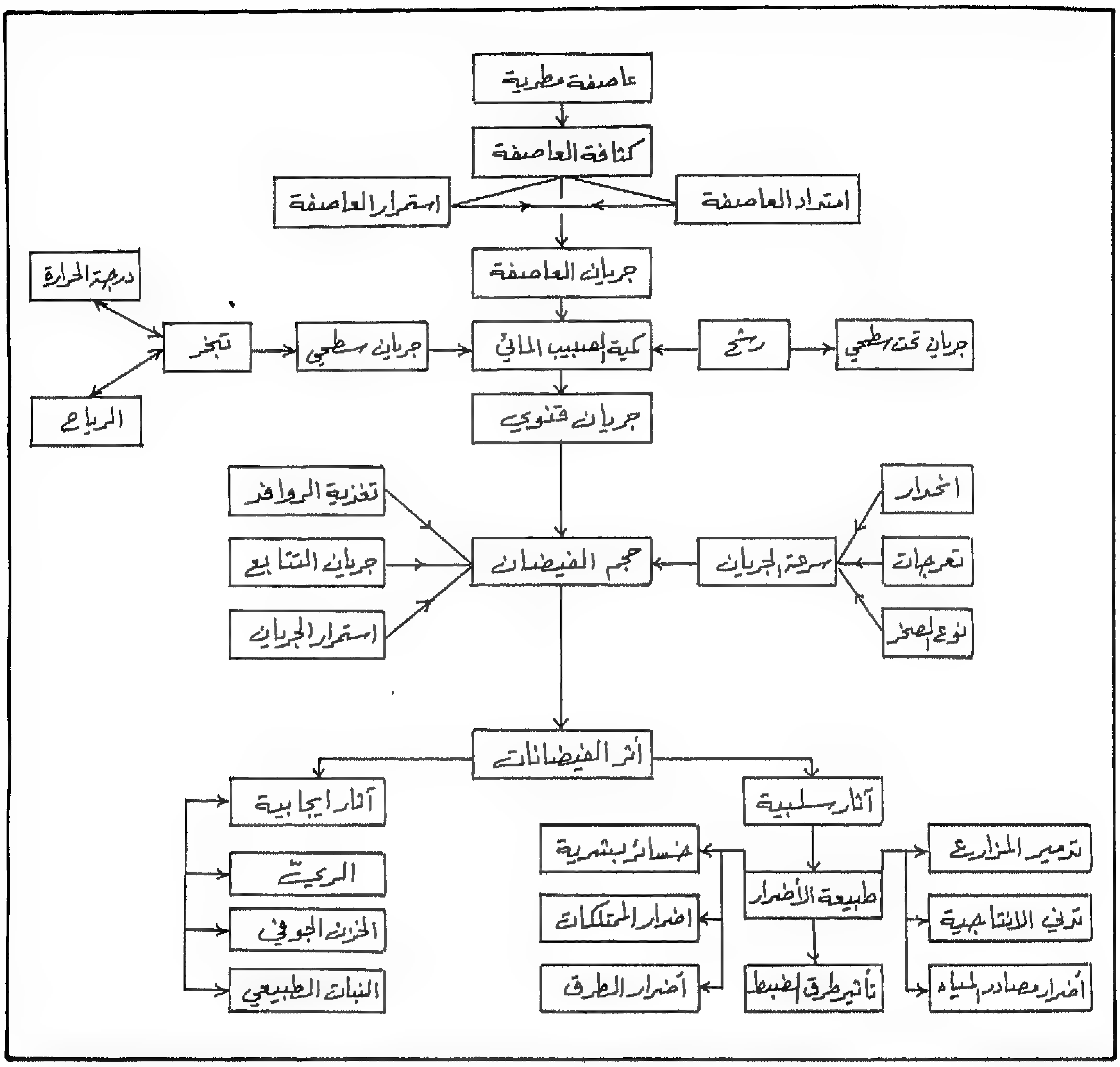
وبالمقابل فان الفيضانات تدمر المزارع والممتلكات وتزهق الأرواح وتجرف التربة السطحية المنتجة، وتخرب قوام التربة ونسيجها، وتضيف أعباء كبيرة على المزارع عندما يعيد أرضه الى سابق عهدها، فقد تحتاج الأرض الى اضافة السماد الطبيعي اليها او تحتاج الى ازالة الحجارة والى صرف المياه الزائدة. كما أن الفيضانات تدمر نظم الري والطرق وأنابيب المياه، وقد تنفق بسببها آلاف رؤوس الأغنام والماشية.

طرق التحكم بمياه الفيضانات :

تستخدم العديد من الطرق لدرء خطر الفيضانات نذكر منها :

1. اقامة الضفاف Levess :

وهي عبارة عن حواجز في معظمها ركامية على شكل شريط مواز



شكل (32) الآثار المترتبة على حدوث الفيضان

لمجرى السيل لمنع تغلغل مياه الفيضان الى المناطق المجاورة. وقد طبقت هذه الطريقة طيلة الحقب الزمنية التي مرت على حضارات ما بين الرافدين حتى عام 1956، حين تم انشاء سد سامراء الذي حد نهائياً من الفيضانات المدمرة على مدينة بغداد.

2. جدران الفيضانات Flood Walls :

وهي حوائط اسمنتية تقام على ضفاف الأنهار المعرضة لارتفاع مناسيب المياه الجارية فيها، والتي قد تشكل خطرا داهماً على المناطق المحاذية لها. ومثل هذا الأمر نجده بنهر التميز الذي يمر من قلب مدينة لندن، وقد تكون هذه الحواجز معدنية تتحرك وفق آلية منظمة تتسق وحالات المد والجزر وارتفاع المنسوب بسبب التساقط أو ذوبان الثلوج.

3. نظام صرف الطوارئ Emergency Water flow system :

ويقصد به اقامة نظام خاص من القنوات تبدأ من جوانب الأنهار المعرضة لارتفاع مناسيبها بصورة فجائية، حيث تعمل هذه القنوات على صرف المياه الزائدة وتحويلها الى مجاري ثانوية او الى بحيرات اصطناعية او طبيعية، أو الى بالوعات كارستيه لها طاقة هائلة على استيعاب المياه.

4. تنظيف المجاري المائية Dredging :

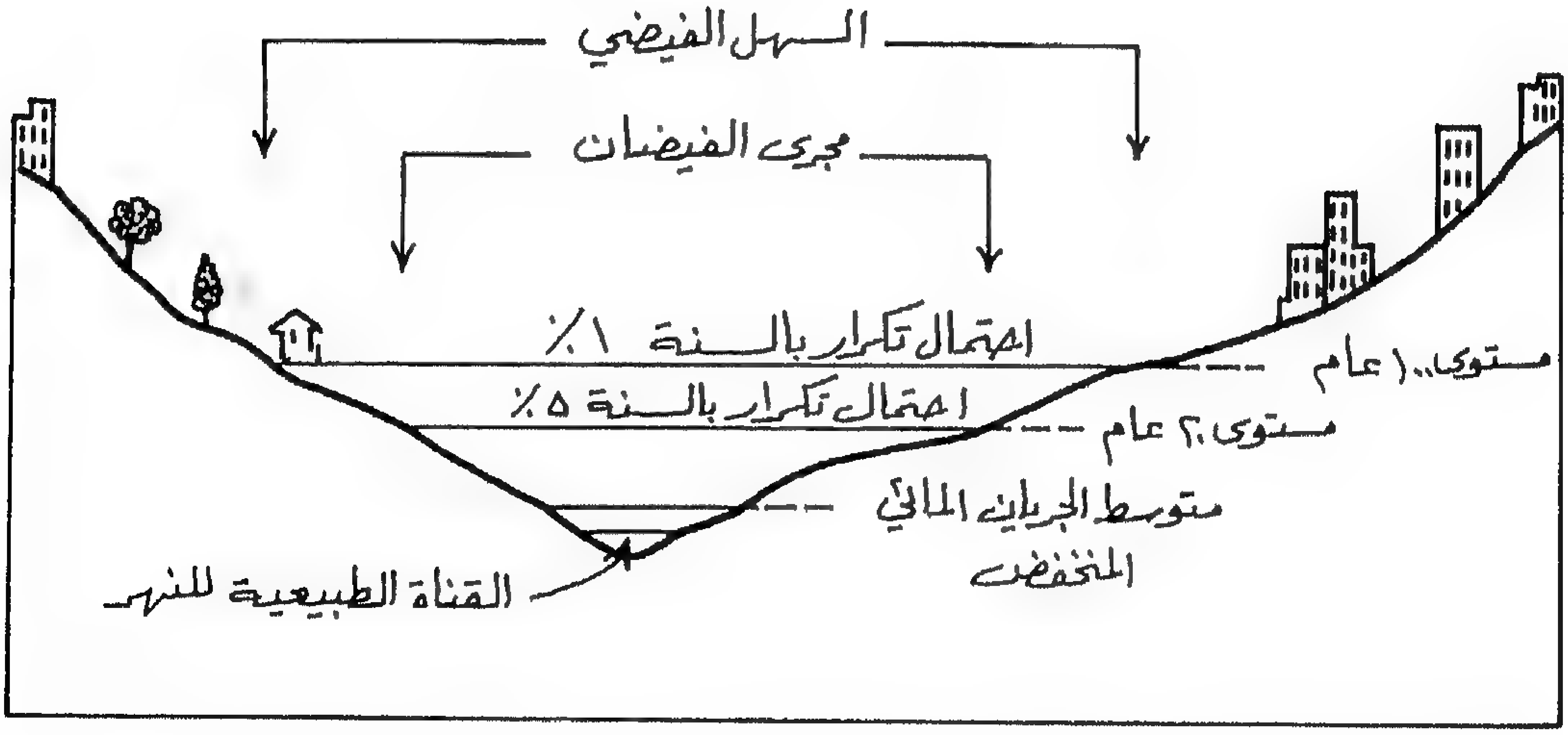
لزيادة كفاءة القنوات النهرية على نقل المياه، يجب زيادة مساحة مقطعها اما بتعميقها او بازالة الارسابات السائبة من القناة الرئيسية، ويتم هذا الأمر عادة خلال فصل الجفاف او ما يسمى بالصهيود، او التحاريق عندما يقل معدل التصريف المائي.

5. تحديد مناطق الاستخدام الأنسب على جوانب القنوات النهرية (شكل 33).

بحيث تحدد نطاقات الاستخدامات الزراعية والسكنية، كما يتم تحديد المناطق التي يحظر استخدامها على الاطلاق، وذلك للحد من خطر الفيضان ما أمكن، وتبنى هذه النطاقات على مبدأ تكرار الفيضانات وسنوات الرجوع.

6. اقامة نظام تحذير وتنبؤ متقن Forecasting and Warning system

تلجأ العديد من الدول التي تعاني من تكرار الفيضانات الى اقامة نظم تنبؤ، مكونة من شبكة رصد رادارية مرتبطة بمحطات قياس التصريف المائي، مسيطر عليها جميعها من قبل محطات تحكم ورصد، تتصل بقيادة الدفاع المدني والجيش والأمن العام، تبث معلومات وبيانات مباشرة قد تكون مسموعة او مرئية.



شكل (33) نطاقات الأمان حول مجرى النهر وفق سنوات رجوع الفيضان

الطرق الاحصائية المستخدمة في التنبؤ :

عمد المهتمون بقضايا الموارد المائية والمشكلات البيئية الى اتباع عدة سبل حاولوا من خلالها التوصل الى طرق مختلفة، يستطيعون من خلالها التنبؤ بحدوث الفيضانات. وقد تنوعت هذه السبل بين أن تكون متخصصة بالأجل الطويل Bridict، والبعض الآخر متخصص بالأجل القصير Forecast.

طرق التنبؤ طويل الأجل :

تركز هذه الطرق على سنوات الرجوع، واحتمال تكرار فيضان ما خلال فترة زمنية محددة، وقد تنوعت تلك النماذج حسب اجتهاد أصحابها، ويؤخذ على هذه الطرق ما يلي :

1. يمكن أن تحدث حالة نادرة بعد مضي فترة طويلة ولكنها قد تتكرر في أي وقت، لكون الظاهرة الطبيعية تميل للتجمع خلال فترات زمنية متقاربة.
2. يؤدي الاعتماد على هذه التقنية من قبل عامة الناس الى حصول أضرار جسيمة نظرا لأن بعض الحوادث يتوقع أن لا تتكرر أثناء جيل واحد، ولكنها تتكرر بعد فترة وجيزة.
3. تبنى هذه النماذج توقعاتها بناء على البيانات المتوفرة، وسوف يطرأ على نتائجها الكثير من التغيرات باختلاف قيم هذه البيانات مع استمرار وقائع الظاهرات الطبيعية كالأمطار.
4. في كثير من الحالات قد لا تتطابق نتائج الاحتمالية ونتائج سنوات الرجوع.

ويلجأ البعض الى استخدام تحليل السلاسل الزمنية، او دراسة الفيضانات السابقة من خلال دلائل جيولوجية وجيومورفولوجية. كما تم تطوير العديد من النماذج الاحصائية المتقدمة في هذا المجال كالتحليل الطيفي والانحدار البسيط والمتعدد.

سنوات الرجوع : Return period

يهدف استخدام تقنية تحليل التكرار الى رسم او تمثيل الحد الأعلى لبيانات التصريف المائي السنوي، ومن ثم تقدير الاحتمال الأكثر واقعية لحصول جريان ما. وتستخدم طريقتان في هذا المجال احداها تأخذ بالحسبان فقط أعلى قمة في كل سنة، بينما الطريقة الثانية فتستخدم كل القمم. ولكن الطريقة الأكثر استعمالاً فهي الطريقة الأولى Annual Maximum series. بحيث يتم ترتيب قيم القمم تنازلياً وترقيمها وفق رتبها ثم تطبق عليها النماذج الرياضية المختلفة.

وقد تفاوتت هذه النماذج في سهولتها، فابسطها نموذج كاليفورنيا الذي يقوم بقسمة رتبة قمة التصريف المائي (اي قمة) على طول السلسلة الزمنية، ويكون الناتج عدد السنوات اللازمة لتكرار هذه القيمة. فمثلاً لو كانت لدينا قمة تصريف مائي قدرها 100م^3/ث، وترتيبها بين القمم 10 وطول السلسلة الزمنية قيد الدراسة 30 سنة، فان عدد السنوات اللازمة لرجوع هذه القيمة (100م^3/ث) هو $\frac{30}{10}=$ 3 سنوات فقط. الا أن الأمر أصبح معقداً جداً ويصعب على البعض تطبيق بعضها إلا بالحاسبات الالكترونية.

وتتبنى الدول والمنظمات بعض هذه النماذج الاحصائية. فمنظمة

الأرصاد الجوية تعتمد : Probability weighted moment، وتعتمد الولايات المتحدة Log-Person Type، وبريطانيا General extreme values. أما في الأردن، فتعتمد طريقة جمبل Gumble في معظم الدراسات المتعلقة بسنوات الرجوع.

وأسهل صورة تظهر بها معادلة "جمبل" هي على النحو التالي :

$$F = m / (n + 1)$$

حيث أن :

F = سنة الرجوع او التردد

m = الرتبة

n = عدد السنوات / طول السلسلة الزمنية

وقد طور "جمبل" معادلته فأدخل عليها المتوسط والانحراف المعياري والمتوسط المعدل والانحراف المعياري المعدل ولوغريتم السنة. فأصبح هذا النموذج الجديد لا يحتاج الى ترتيب القيم تنازلياً. والمعادلة أصبحت على النحو التالي :

$$Y = \overline{Y} + \frac{Q}{Q_n}(\log T - \overline{Y}_n)$$

حيث أن :

Y = قمة التصريف المائي.

$\overline{Y}$ = المتوسط الحسابي لقمم التصريف المائي المستخدمة في الدراسة.

Q = الانحراف المعياري لقمم التصريف المائي المستخدمة في الدراسة.

$\overline{Y}_n$ = المتوسط المعدل وتستخدم معامل تصحيح خـاص (J.b.Broce, 1980 , 125).(*)

Q_n= الانحراف المعدل ويستخرج من جدول خاص(Ibid , p.125)(**)

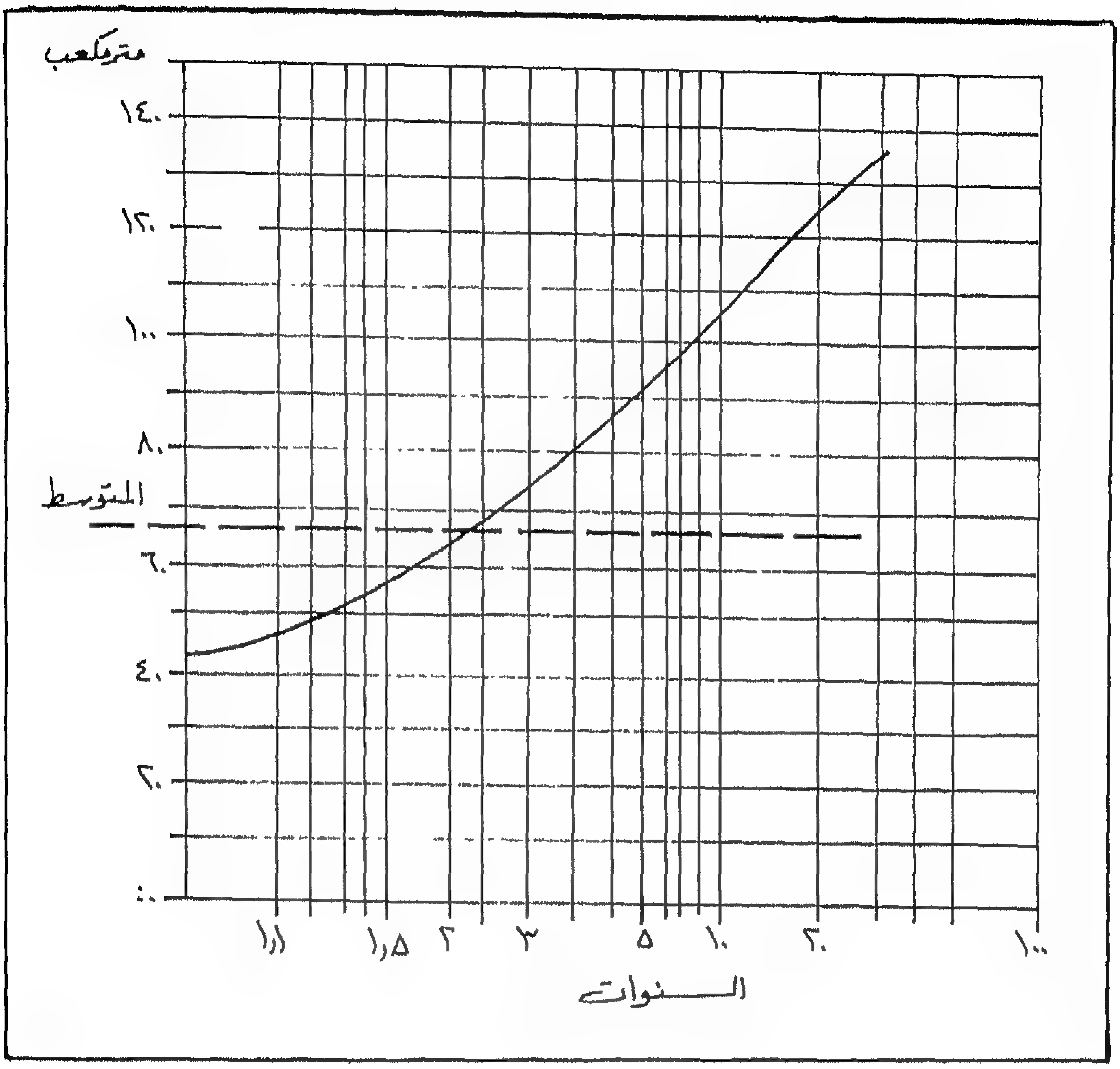
T = سنة الرجوع.

وبعد تطبيق المعادلة على سلسلة زمنية معينة لبعض الأنهار يجب أن تمثل النتائج على ورق خاص يدعى ورق توزيع "جمبل" كما هو واضح في الشكل (34) اذ يوضح هذا الشكل تطبيق معادلة "جمبل" على سلسلة زمنية من التصريف المائي مدتها 30 سنة على محطة جسر جرش على نهر الزرقاء. ويتضح من خلال هذا الشكل أن متوسط قمم التصريف المائي لنهر الزرقاء يصل الى 76.6م^3/ث، وان هذه القمة تحتاج الى 2.33 سنة حتى تتكرر مرة أخرى.

ويفضل البعض استخدام مفهوم احتمالية حصول قمة تصريف مائي خلال فترة زمنية من استخدام عدد السنوات اللازمة لتكرار قمة ما. ففي الشكل (35) يبدو أن أعلى قمة لتصريف المياه من الزرقاء خلال 30 سنة (63-1993) هي 288م^3/ث، وان احتمال تكرارها في سنة ما هو 3.1٪ وان احتمال عدم تكرارها سنويا يصل الى 96.9٪.

(*) يساوي المعامل في حالة نهر الزرقاء (1.1159).

(**) يساوي المعامل في حالة نهر الزرقاء (0.5371).



شكل (34) سنوات الرجوع لقمم التصريف المائي لنهر الزرقاء وفقاً لتوزيع "جمبل"

طرق التنبؤ قصيرة الأجل :

تعتمد هذه الطرق على بيانات آنية ومشاهدات سابقة وبعض المتغيرات المقاسة مثل مساحة الحوض، وطبغرافية ورطوبة التربة، والغطاء النباتي، ونوع الصخر، وطبيعة التساقط، وغير ذلك من المتغيرات، التي يمكن من خلالها توقع كمية التصريف المائي، واحيانا قمته.

وقد تم تطوير العديد من النماذج الاحصائية لهذا الغرض بالاستعانة بنماذج مخبرية. وتستطيع بعض هذا النماذج تقدير حجم التصريف المطري على مستوى العاصفة أو على مستوى يوم واحد، أو على مستوى آني لحظة بلحظة مثل نموذج Autoregressive moving Average (ARMA)، والذي يقوم بتسجيل البيانات المطرية ساعة بساعة ليوصلها مباشرة الى محطات مراقبة محوسبة، تقوم بالتقدير المباشر.

كما تستخدم حاليا بيانات مباشرة مستمدة من محطات رادارية، تعطي وصفا عاما للمنخفض الجوي من حيث الشكل والعمق والامتداد، ومن خلال مشاهدات سابقة، يمكن التنبؤ بكمية الأمطار المتوقع سقوطها على الحوض، ومن ثم تحويلها الى جريان مائي من خلال معادلات خاصة بهذا الحوض. مثل معادلة Rational Method :

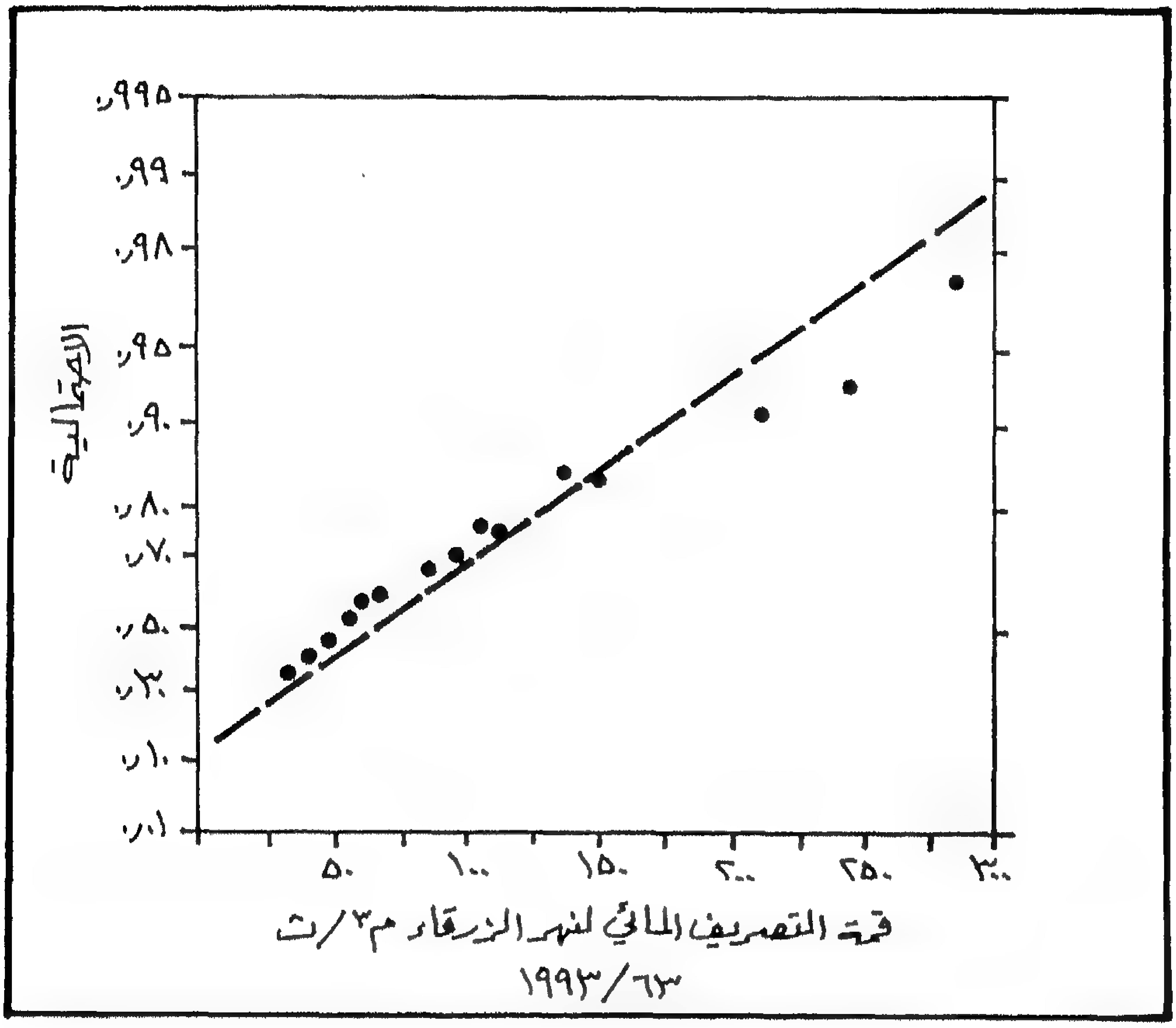
$$Q = C\,i\,A$$

Q = قمة التصريف المائي م^3/ث.

i = كثافة التصريف المائي م^3 / ساعة.

A = مساحة الحوض. كم^2.

وهناك العديد من الطرق الحديثة التي بدأت الدول المتقدمة استخدامها للتخفيف من حدة الأعاصير والفيضانات مثل السفن القابعة في المحيطات، والأقمار الصناعية المتخصصة برصد حركة الترنادو والتيفون وغيرها من الأعاصير التي تضرب بعض الدول مثل الولايات المتحدة الأمريكية.



شكل (35) احتمالية تكرار رقم التصريف المائي لنهر الزرقاء وفقاً لتوزيع "جمبل"

الفصل الرابع

المياه الجوفية

تعتبر المياه الجوفية أحد المصادر الرئيسية لمياه الأنهار الدائمة الجريان في العالم، حيث يعتمد تصريف الأساس للأنهار على المياه الجوفية. والمياه الجوفية هي مياه ترشحت من السطح عبر طبقة التربة الهشة الى داخل تكوينات القشرة الأرضية والتي تصبح فيما بعد خزانات كبيرة للمياه الجوفية.

وتزداد استعمالات المياه الجوفية يوما بعد آخر وسنة بعد أخرى وذلك لزيادة حفر الآبار الجوفية في كل دول العالم، وذلك لزيادة الحاجة اليها في توفير مياه الشرب لكثير من مدن العالم ولتوفير مياه الري في الزراعة في مناطق واسعة من العالم.

نتيجة لكل ذلك أصبح من الأهمية بمكان تقدير كميات المياه الجوفية وحمايتها من التلوث وتنظيم ضخ المياه فيها لضمان استمرارية توفرها كمصدرها طبيعي للمياه.

أصل المياه الجوفية :

يعود اصل المياه الجوفية الى المياه السطحية، سواء كانت مياه أمطار ترشحت عبر طبقة التربة الى الطبقات الصخرية ضمن تكوينات القشرة الأرضية، أو من مياه الثلوج التي تتساقط في فصل الشتاء وتبدأ بالذوبان التدريجي فتعطي الوقت الكافي لترشح مياهها الى داخل القشرة الأرضية. أو

يكون مصدر المياه الجوفية من تسرب مياه الأنهار على طول المجاري النهرية او من ماء البحيرات. كما يمكن أن يكون مصدر الماء الجوفي من مياه الري الزائدة، او يكون مصدر المياه الجوفية اصطناعيا، حيث بدأ حديثا بتزويد الطبقات الجوفية بمياه الفيضان عن طريق الحقن، أو ما يسمى بحقن الآبار الجوفية. كما تساعد مياه البحار والمحيطات على تزويد المياه الجوفية بجزء من مخزوناتها من المياه الجوفية.

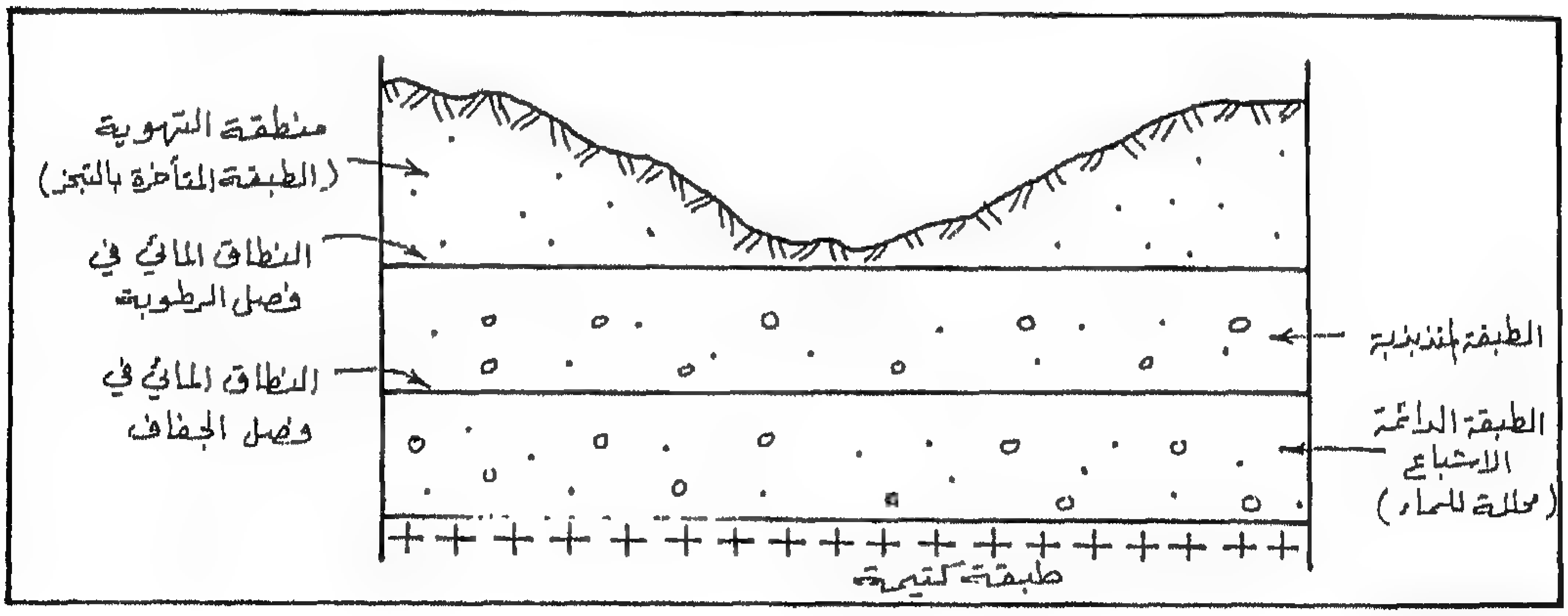
وتمتاز الطبقات الحاملة للماء بمجموعة من الخصائص، فالمياه الجوفية تتواجد في فراغات الطبقات الصخرية الرسوبية لأنها تستطيع الاحتفاظ بالماء. فصخور الحجر الرملي مثلا ذات مسامية منخفضة ولكنها ذات نفاذية عالية لذلك فان صخور الحجر الرملي يمكنها أن تحتفظ بكميات كبيرة من الماء، ويطلق عليها اسم الطبقات الحاملة للماء **Aquifer**. ويشترط ان تكون تحت هذه الطبقة صخور صماء كتيمة غير منفذة للماء **Impermeable** تمنع من استمرار رشح الماء الى داخل جوف الأرض. وتقل كميات الماء الجوفي مع زيادة العمق وذلك بسبب ازدياد كثافة الصخور باتجاه الأسفل، ويرتبط ذلك بقلة المسامات بين الصخور العميقة، فكلما زاد العمق كلما أغلقت المسامات البينية، بسبب وزن المواد الصخرية العالية الكثافة، والتي تؤدي الى اغلاق المسافات بالمواد الدقيقة. ومن هنا فان معظم الآبار لا يتجاوز عمقها 700 متر، لكن بعض الآبار يصل عمقها الى 1500 متر.

نستنتج مما سبق أن هناك ثلاث طبقات تتحكم بوجود الماء الجوفي وبكميات متفاوتة.

أ. الطبقات الحاملة للماء Aquifer وهي الطبقـات الـتي تتمـيز بوجـود نفاذيـة عالية ونقل جيد للماء، واذا توفرت ظروف الترشيح تصبح طبقات مشبعة بالماء. وتتشكل في الغالب من أنواع مختلفة من الصخور الرسـوبية وبخاصـة الصخور الرملية (شكل 36).

ب. طبقات صخرية ذات مسامية ونفاذية أقل، وهي صخور ذات قـدرة قليلـة على الاحتفاظ بالمـاء وتسـمى Aqniclude. وتتشكـل هـذه الطبقـات مـن الطفل أو الطين او الاثنين معا (شكل 36).

ج. طبقات أرضية كتمية ذات مسامات دقيقـة جـداً او معدومـة وذات قـدرة محدودة جداً او معدومة على حركة الماء وتسمى Aquifuge. (شكل 36)



شكل (36) تغير مستوى النطاق المائي الجوفي

العوامل التي تؤثر على مستوى الماء الجوفي :

النطاق المائي هو المد الأعلى للماء الجوفي، الا أن مستوى الماء الجوفي يصعد ويهبط تبعا للعوامل التالية :

1. نوع الرواسب، وهل هي حصوية ام رملية ام طينية.
2. الخصائص المناخية للمنطقة من حيث كميات الأمطار وديمومتها وفصول الرطوبة والجفاف بالاضافة الى التبخر والجريان.
3. المسامية والنفاذية للطبقات الواقعة فوق مستوى الماء الجوفي وتحته.
4. الجاذبية والخاصية الشعرية والغطاء النباتي.

وهناك بعض العوامل البشرية التي تؤثر على مستوى الماء الجوفي وهي :

1. حفر الآبار وزيادة الضخ يخفض مستوى الماء الجوفي.
2. حقن الآبار بالمياه يرفع مستوى الماء الجوفي.
3. السدود، حيث يؤدي تسرب الماء السطحي الى الماء الجوفي يزيد من مستوى الماء الجوفي.
4. عمليات الحفر من أجل شق الطرق بمختلف أنواعها يؤدي الى رشح الماء الجوفي مما يؤدي الى انخفاض مستواه في الطبقات الحاملة.
5. الامتداد العمراني والنشاطات البشرية الأخرى، حيث يؤدي ذلك الى زيادة معامل الجريان على معامل الرشح وهذا يقلل من فرص تسرب الماء السطحي الى الماء الجوفي.

ولو أخذنا مقطعاً عمودياً لصخور القـاعدة القاريـة الحاملـة للمـاء فانـه يمكننا تمييز ثلاث طبقات حاوية للمياه الجوفية.:

1. النطاق الأعلى :

ويحتوي على المياه العذبة والناتجة عن سقوط الأمطار الحالية وترشحـها، وان الحدود الداخلية لهذه الطبقات يمكن أن تتوافق مع القاعدة التحتية للأوديـة النهرية المتعمقة (شكل 36).

2. النطاق الأوسط :

وتقع تحت النطـاق الأعلـى ويصـل عمقـها الى كيلومـتر واحـد تقريبـاً، حيث يحدث هنا تمازج مع المياه القديمة (الحفرية).

3. النطاق الأسفل:

وفيه تكون عملية التبادل المائي بطيئة، والمياه فيها قديمة جداً، وهي مياه حفرية مدفونه على أعماق بعيدة تصل الى 10 كم وذات ملوحة عالية.

وقد تشكلت هذه المياه في فترات ماضيـة عندمـا كـانت المنطقـة مغطـاة بمياه البحار، فبعد انحسار البحر غطت الرواسب هـذه المنطقـة وبقيـت الميـاه في الأسفل. وتسمى بالمياه الاحفورية Fossils water . ويمكن تقسيم المـاء البـاطني علـى سـطح الأرض الى نطاقـات مختلفـة العمـق تبعـاً لخصائصـها الهيدرولوجيـة كالملوحة والعمق وهذه النطاقات هي :

1. نطاق التندرا ذو المياه النقية جداً وقليلة العمق.

2. نطاق غابي ذو مياه نقية.

3. نطاق السهول ذو املاح قليلة مـن 0.5 – 1 غـم لكـل لـتر في العـروض المعتدلة.

4. نطاق الصحراء وشبه الصحراء وهي ذات مياه جوفية مالحة وعميقة.

5. نطاق السهول المدارية والسافانا المتوسطة الملوحة.

6. نطاق الغابات الاستوائية وهي مياه عذبة وقليلة الملوحة وقليلة العمق.

الأشكال المائية الجوفية :

توجد المياه الجوفية بشكل عـام في التكوينـات الصخريـة المنفـذة للمـاء ضمن القشرة الأرضية ولكنها توجد في أشكال مختلفة تبعاً لظـروف التكوينـات الصخريـة وأمـاكن تواجدهـا. وتقسـم الأشـكـال المائيـة الجوفيـة الى المجموعـات التالية:

1. الطبقات المائية الجوفية المعلقة :

تظهر هذه التشكيـلات في المنـاطق المتـأثرة بـالهواء والقريبـة مـن سـطح الأرض فوق مقعرات محلية غير منفذة للماء مكونة مـن الطـين أو الرمـل. ولأن عمق هذه الطبقات قليل، فانـها تعـاني مـن تأثـير درجـة حـرارة الهـواء والنظـام المطري، ولذلك فان هناك احتمالا لاختفائها، ويعتمد طول الطبقة الحاملة للماء علـى القـاعدة غـير المنفـذة للمـاء. ويمكـن لهـذه التشكيـلات ان توجـد بشكـل اصطناعي حيث يقوم الانسان بعمل طبقـة سـطحية منفـذة مكونـه مـن الحصـى والرمل يليها طبقة غير منفذة. وقد استخدمت هـذه الطريقـة في مـدن امريكيـة مختلفة (شكل 37)

2. الطبقات الجوفية العادية :

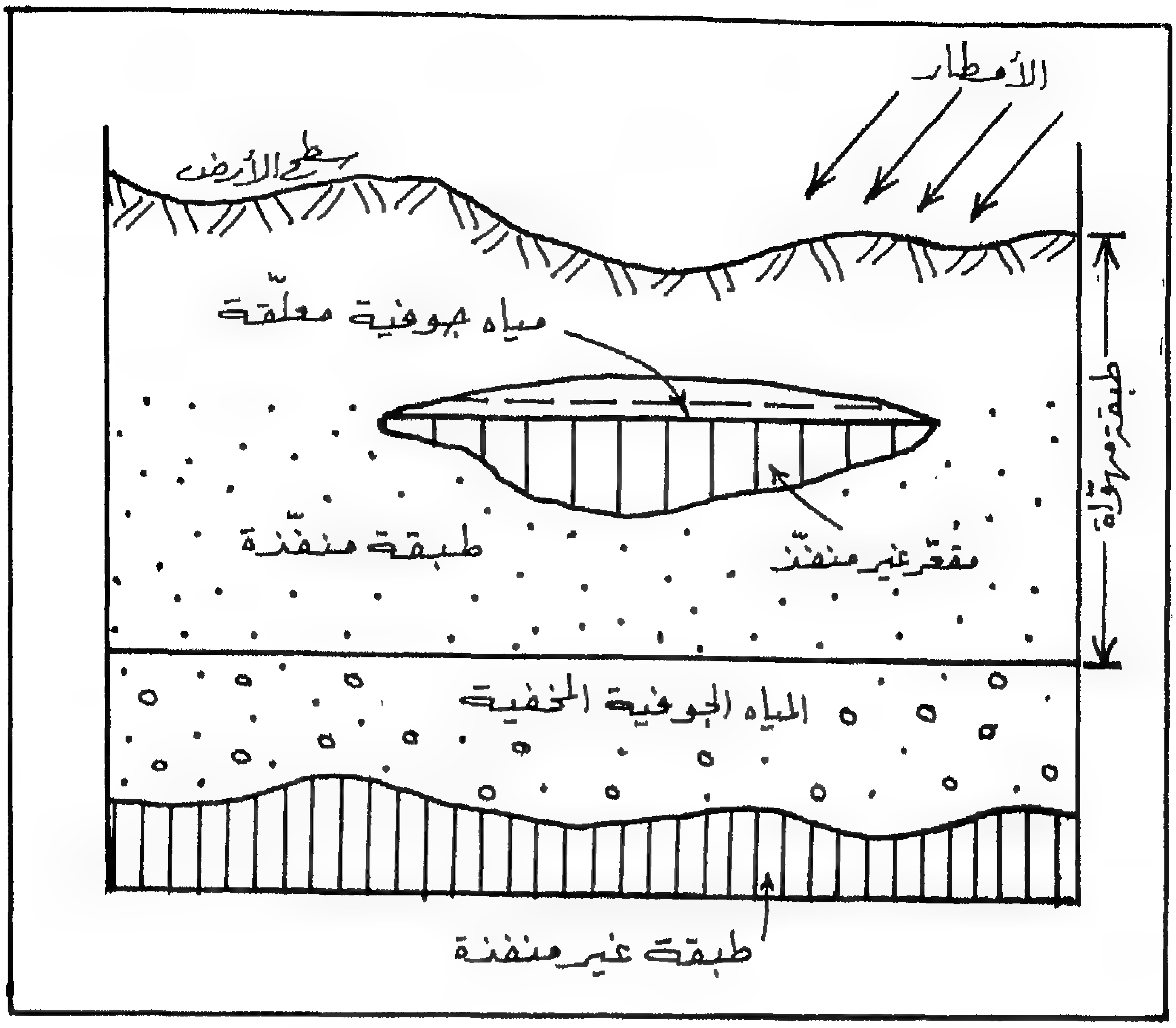
تقع هـذه التشكيـلات الجوفيـة علـى عمـق يـتراوح بـين 20–25 مـترا، وتحتوي على منطقة مشبعة بالماء للطبقات المنفذة واقعة فوق صخور غير منفذه للماء، وتتغذى من رشح مياه الأمطار ومن تجمعات البخـار الموجـود في الطبقـة المهواة. ويمكن أن يرتفع مستوى الماء الجوفي أو ينخفـض حسـب كميـات الميـاه المترشحة وكميات المياه الخارجة من الطبقات الحاملة للماء.

ويمكن أن تحدث ظاهرة متبادلة بـين مجـاري الأنـهار والطبقـات الحاملـة للماء، فاذا كانت الأنهار صغيرة فانها تعمل على امداد الطبقات الحاملة للماء، وعندما تعمق الأنهار مجاريها فانها تصبح هي التي تتغذى بالمياه الجوفية.

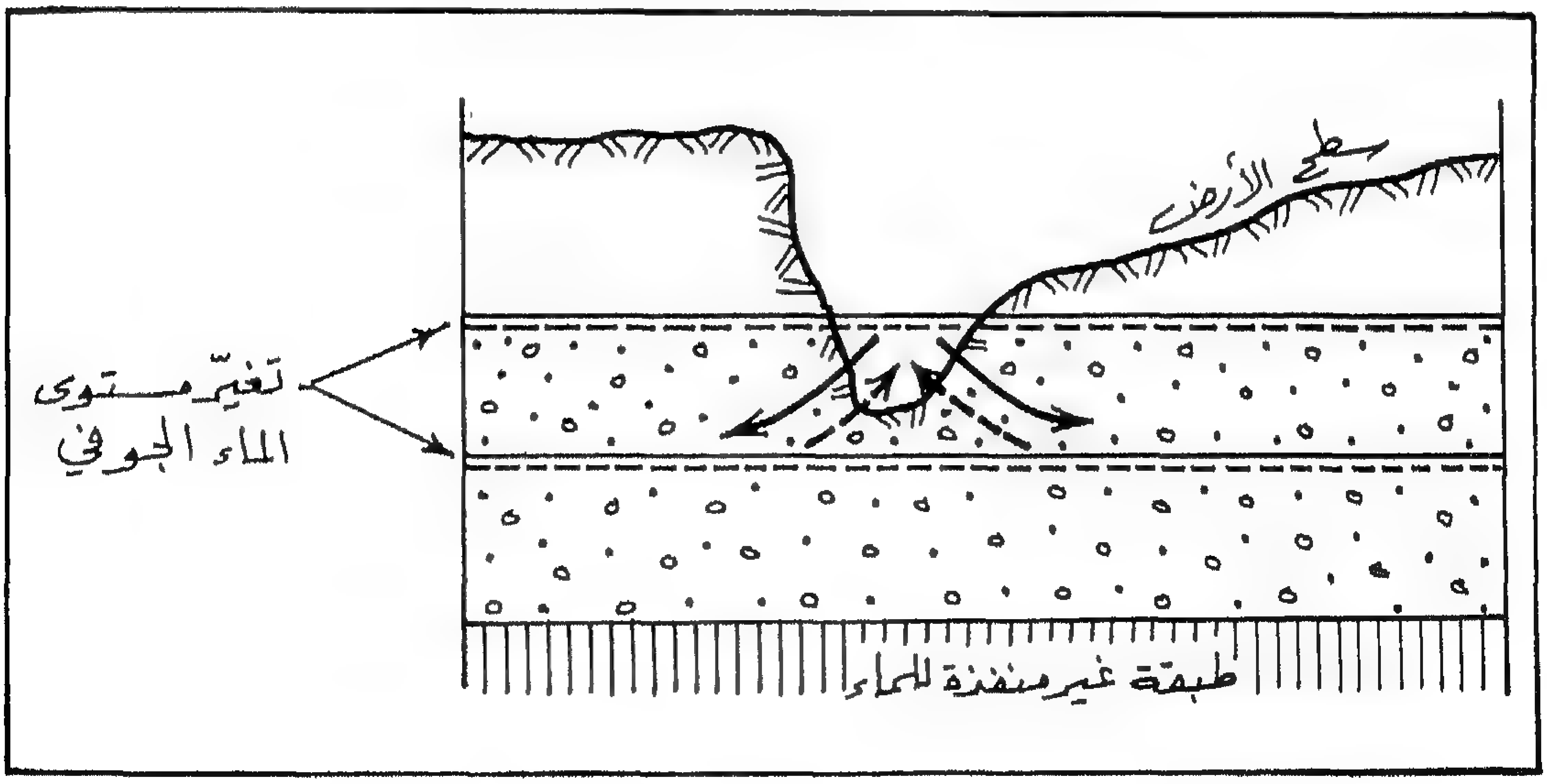
وتقسم المياه الجوفية العادية حسب علاقتها مع المياه السطحية الى :

أ. المياه الجوفية تحت النهريـة، حيـث يوجـد تبـادل كثيـف بـين فعـل تيـار المـاء السطحي وتيار الماء الجوفي. فاذا انخفض مستوى الماء الجوفي عن مجـاري الأنـهار فان التسرب من مياه الأنهار نحو الطبقات الحاملة تزداد ويصبح النهر هو الذي يزود الماء الجوفي. بينما اذا ارتفع مستوى الماء الجوفي لمستوى أعلى من مسـتوى الماء في النهر فان الماء الجوفي هو الذي سيزود النهر بالماء (شكل 38).

ب. التشكيـلات الجوفيـة للأنـهار الجليديـة. توجـد هـذه التشكيـلات في المنخفضـات الجوفيـة للجليديـات والمغطـاة بالصلصـال والرمـل، لكـن هـذه التشكيلات قليلة الوجود وينحصر وجودها في شمال القارات.



شكل (37) الطبقات المائية الجوفية المعلقة



شكل (38) تبادل تزويد الماء بين الأنهار والطبقات الحاملة للماء

ج. المياه الجوفية تحت الشبكات المائيه السطحية :

وينطبق هذا على ما جاء في البند أ، حيث يوجد تبادل مستمر بين الماء الجوفي وشبكات المجاري المائية. بالاضافة الى انه اذا كانت المناطق الجوفية عميقه وتقع في مناطق سهلية، فسيكون تحتها أحواض جوفية كبيرة (شكل 39).

د. المياه الجوفية تحت المراوح الفيضية :

تتكون المراوح الفيضية عادة من الحجارة والحصى والرمل، لذلك فهي تشكيلات صخرية منفذة بشكل جيد للماء، لذلك فان المراوح الفيضية تحتوي على كميات من الماء الجوفي. (شكل 40).

3. المياه الجوفية المأسورة :

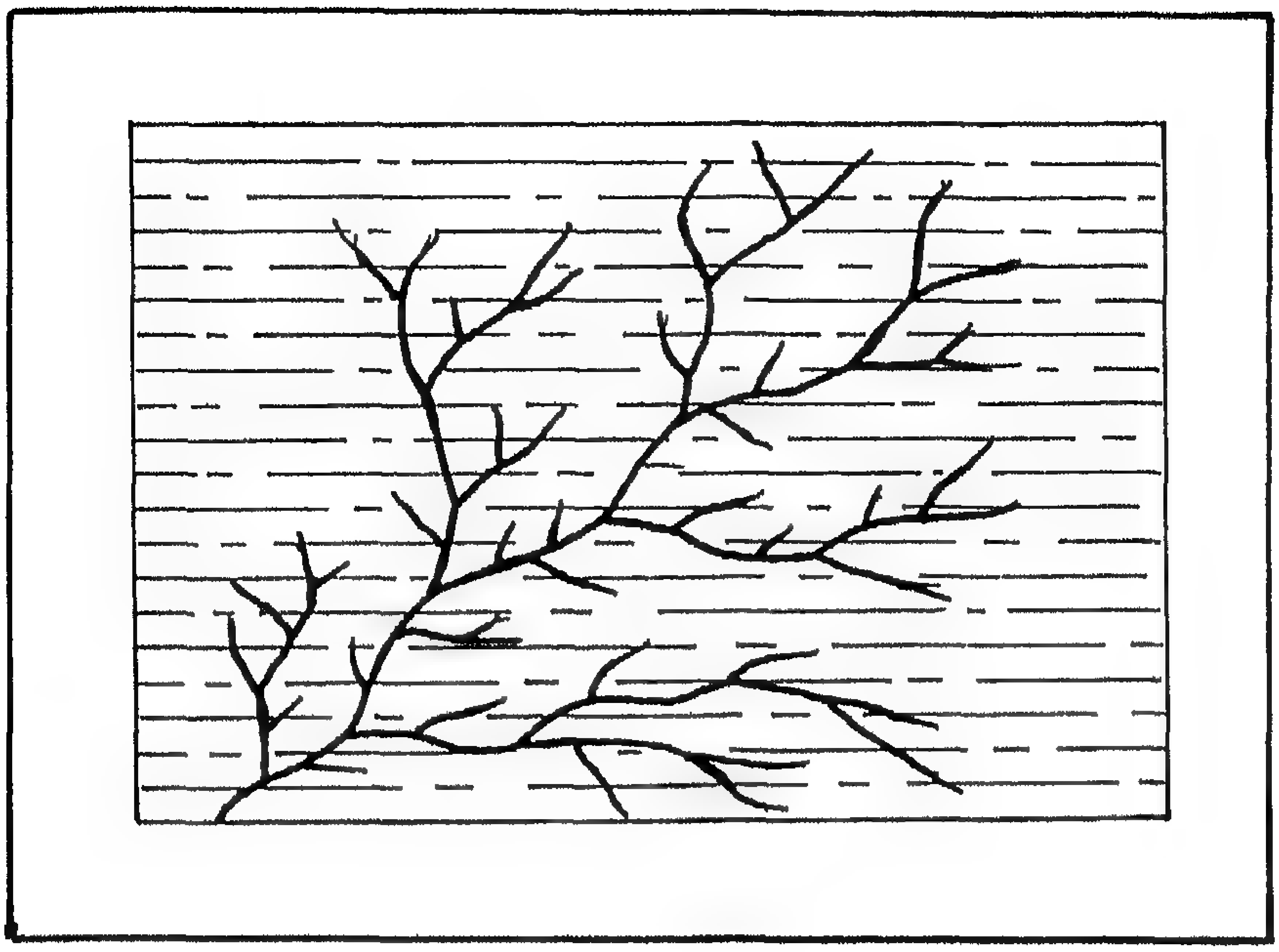
تتكون المياه الجوفية المأسورة بسبب تجمع الماء المتسرب من مياه الأمطار في صخور منفذة، والتي تتسرب لمسافة بعيدة بين طبقتين غير منفذتين للماء مما يؤدي الى تكوين طبقة مائية مأسورة.

4. المياه الجوفية الكارستية :

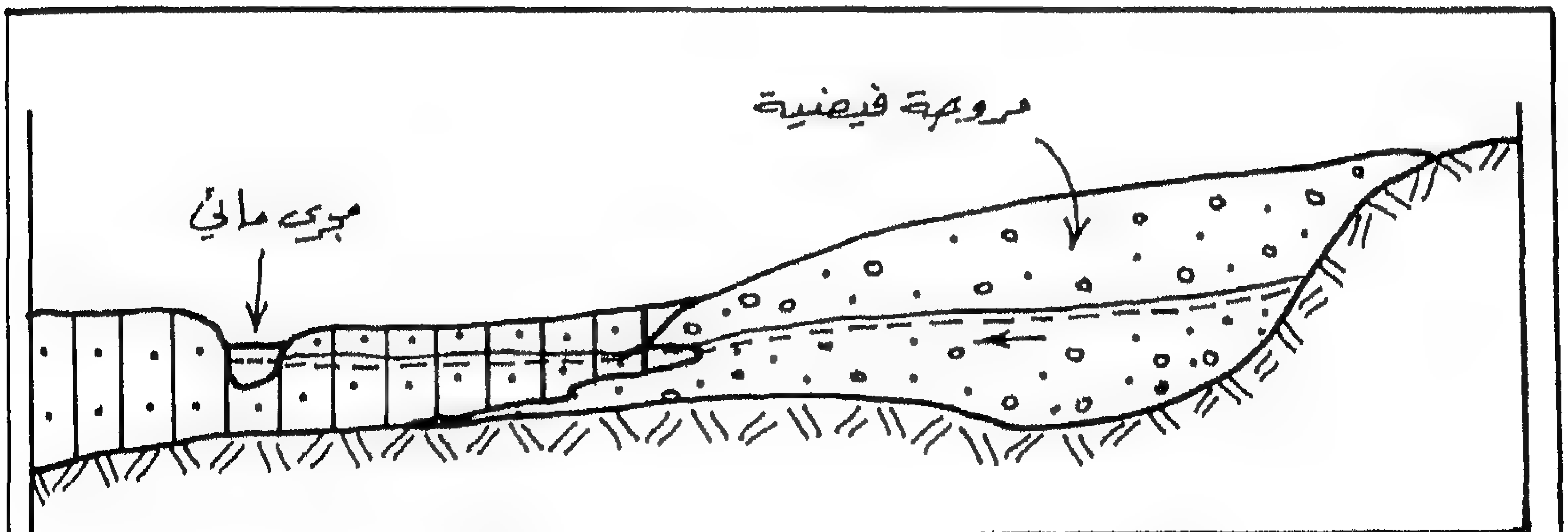
تخلق ظاهرة الكارست تكوينات مائية جوفية تسمى بالمياه الجوفية الكارستية. وتكون كميات المياه كثيفة في الصخور الجيرية Calcar والدولومايت Dolomite والصخور التي تزداد فيها نسبة الملح وكربونات الكالسيوم. حيث يعمل الماء على اذابة الصخر ويكون بداخله قنوات مائية وكهوف كارستيه وبحيرات وجداول ضمنية. وتكون هذه الأشكال مملوءة بالماء كلياً أو جزئيا. (شكل 41)

5. المياه الجوفية الساحلية :

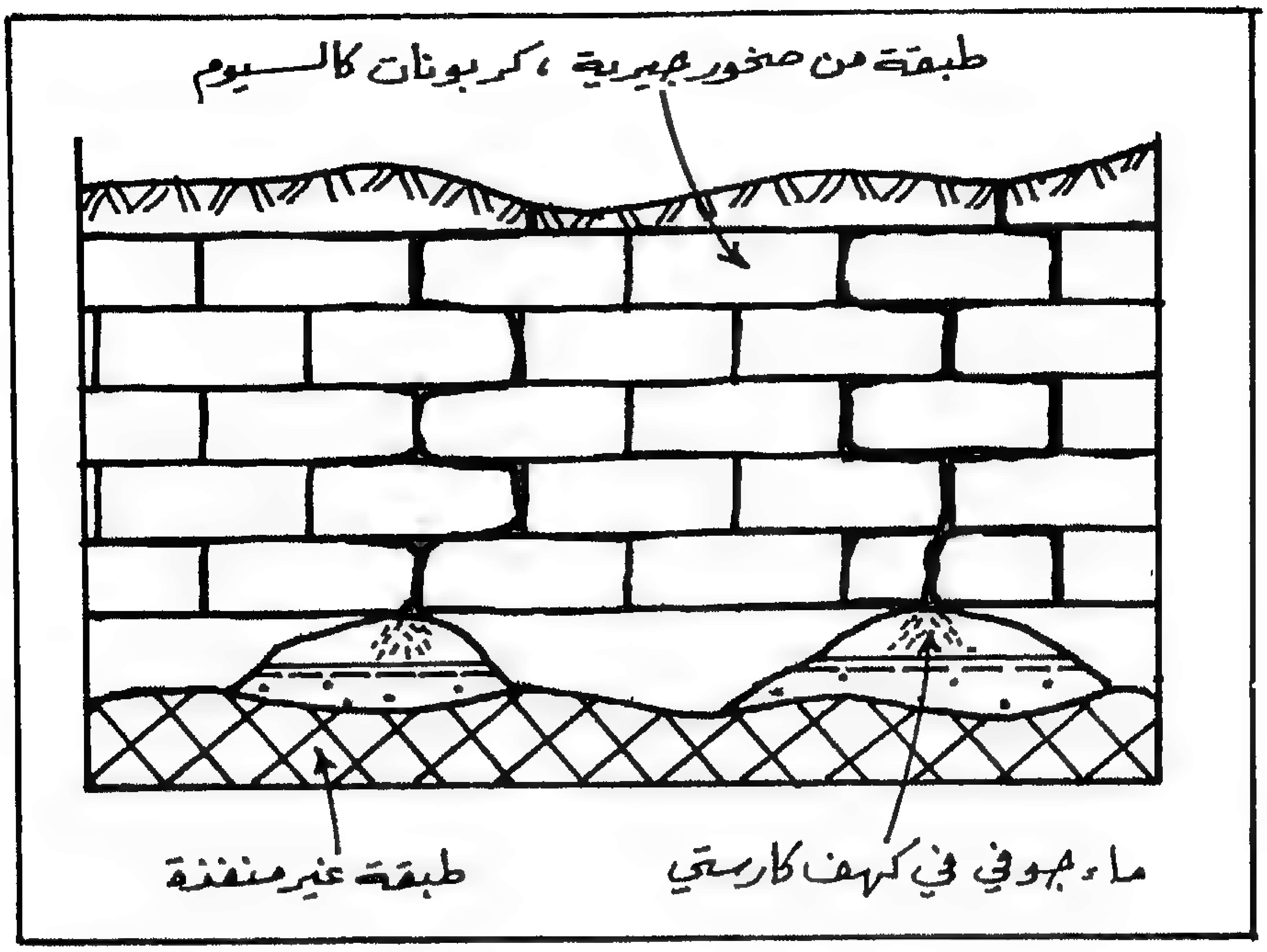
يكون للمياه الجوفية في المناطق الساحلية تركيب خاص ومميز، حيث تحتوي على طبقتين من الماء، سبقة علوية وتحتوي على الماء العذب، ويأتي بعدها مباشرة طبقة من الماء الجوفي المالح القادم من مياه البحار أو المحيطات. (شكل 42).



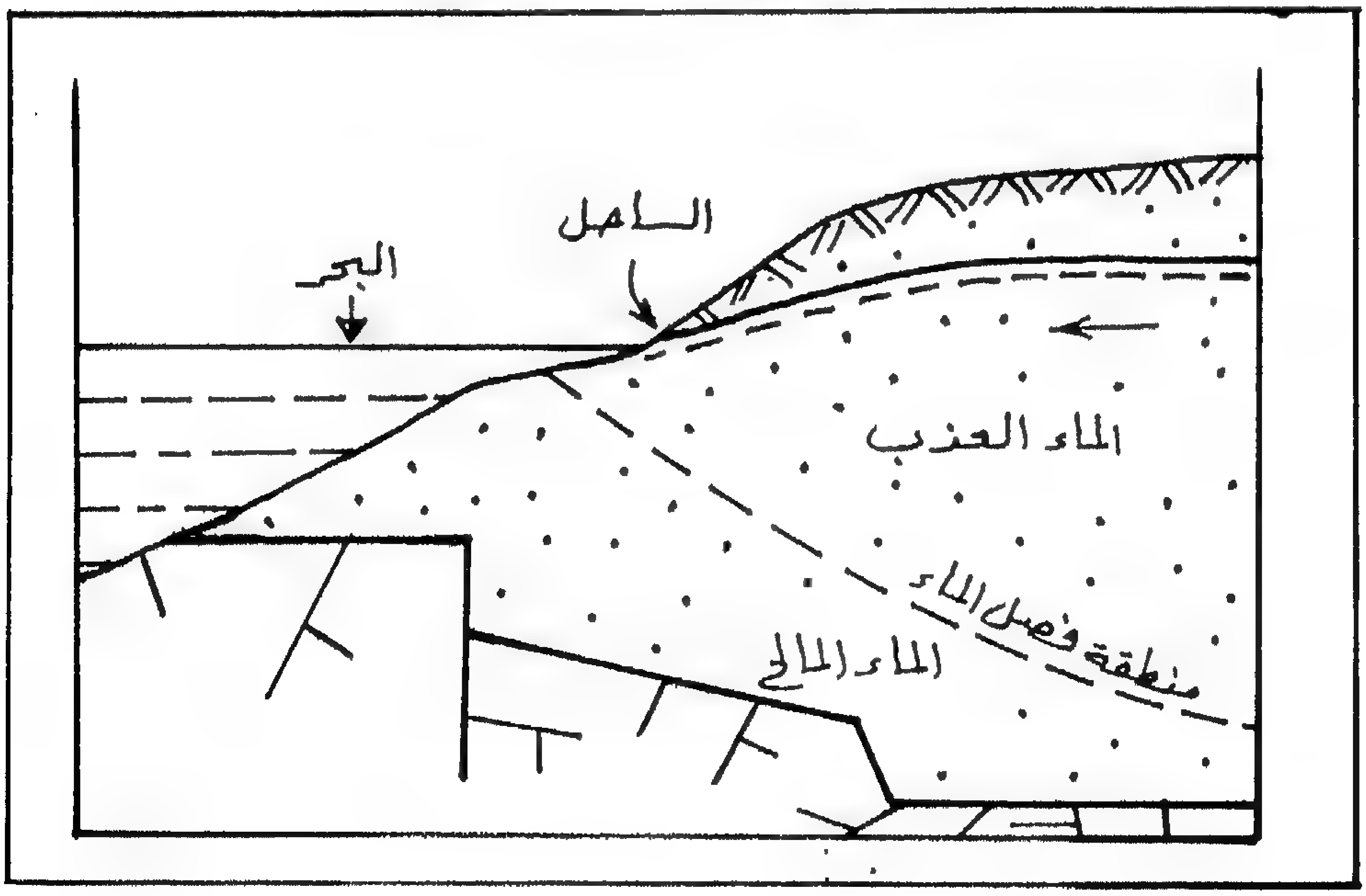
شكل (39) المياه الجوفية تحت الشبكات المائية



شكل (40) المياه الجوفية تحت المراوح المعلقة



شكل (41) المياه الجوفية الكارستية



شكل (42) المياه الجوفية الساحلية

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية هي عبارة عن الزيادة الطبيعية لمخزون الطبقات المائية الجوفية ويمكن ان تعرف ايضا بزيادة الترشيح الطبيعي للمياه السطحية ومياه الأمطار. ويتم ذلك بترشيح المياه السطحية داخل التربة عن طريق نشرها في أحواض خاصة أو بواسطة آبار الحقن.

وتعمل التغذية الاصطناعية على ايقاف هبوط مستوى الماء الجوفي بل وزيادة او رفع مستوى المياه الجوفية. وتعتبر التغذية الاصطناعية مهمة في المناطق التي ينخفض فيها مستوى المياه الجوفية نتيجة جفاف المنطقة مناخيا، او نتيجة الافراط في استغلال المياه الجوفية، وما قد ينجم عن ذلك من انخفاض او نضوب الماء الجوفي بسبب الضخ المستمر وغير العقلاني للمياه من الأحواض المائية، كما وتمكن التغذية الاصطناعية من خزن المياه السطحية واعادة استعمالها.

أما أهداف وفوائد التغذية الاصطناعية فيمكن حصرها بما يلي :

1. الاستفادة من مياه الفيضانات وتنظيمها حتى لا تؤدي الى حدوث كوارث، بل يستفاد منها في تغذية المياه الجوفية.
2. زيادة مخزون الماء الجوفي.
3. ايقاف الهبوط المستمر بل ورفع مستوى الماء الجوفي.
4. الاستفادة من مياه الأمطار (الشتاء) واستعمالها في اوقات الجفاف (الصيف).

5. تنقية المياه من المواد العالقة أثناء دخولها الى الطبقات الحاملة للماء.

6. عدم حدوث انزلاقات ارضية بسبب الافراط في عمليات ضخ المياه الجوفية من الطبقات الجوفية السفلى.

يعتمد اختيار نوع ومكان التغذية الاصطناعية على الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية لمنطقة التغذية. وتتمثل هذه الخصائص في الحدود الجيولوجية والهيدروليكية والتكتونية للصخور، وكميات المياه الداخلة والخارجة والقدرة التخزينية للطبقات ومسامية وموصلية الصخور الهيدروليكية ومصادر التغذية المتاحة وكذلك الموازنة المائية وعمق الطبقات الحاملة للماء.

وعند اختيار منطقة التغذية يجب التعرف وبشكل دقيق على الظروف الطبيعية للمنطقة وهذه الظروف هي : جيومورفولوجية المنطقة، الغطاء النباتي، تركيب ونسيج التربة، عناصر المناخ، كمية مياه التغذية ونوعيتها وخواص الطبقات المائية والطبقات المجاورة لها وحساب التكاليف والوقت والجهد والأرباح.

أحواض التغذية : Recharge Basins

تعتبر أحواض التغذية او الترشيح من الطرق الهامة المستعملة في تغذية الطبقات المائية الجوفية. ويتم ذلك بنشر المياه وافاضتها فوق سطح الأرض من أجل زيادة كمية المياه المترشحة الى باطن الأرض لتصل الى الطبقات الحاملة للماء الجوفي. وتعتبر مدة مكوث الماء على سطح الأرض وخواص منطقة التغذية وقدرتها على الترشيح من أهم العوامل التي تحكم سرعة دخول الماء الى التربة

ومن ثم الى الطبقات الجوفية، ومن الشروط الأساسية لاختيار موقع أحواض التغذية ما يلي :

1. ان يكون السطح منفذا، وتفضل الأسطح الرملية، لقدرتها على سرعة الترشيح.
2. عدم احتواء نطاق التهوية على مقعرات غير منفذه تقلل وتعترض نفاذ الماء الى الطبقات الحاوية على الماء.
3. ان لا يكون عمق الماء الجوفي كبيرا حتى لا تضيع كمية كبيرة من الماء في تبليل نطاق التهوية.
4. ان تتميز الطبقة المائية بناقلية كافية تسمح بالحركة الجانبية لمياه التغذية.

ويمكن القول بأن سرعة الرشح تكون قليلة في البداية (بداية نشر الماء على الأرض) وبعد أن يتشبع السطح بالماء تزداد سرعة الترشيح وخاصة بعد الساعات الأولى ومع استمرار عملية الغمر.

- ابار الحقن Injection wells

تستعمل آبار الحقن لتغذية الطبقات المائية التي يكون فيها استعمال أحواض التغذية غير عملي، وآبار الحقن تعتبر من أهم الطرق المستعملة في التغذية الاصطناعية للطبقات المائية الجوفية، ويجب أن تكون المياه المستعملة في هذه الطريقة ذات نوعية جيدة ويجب أن تكون مواصفاتها مطابقة لمواصفات مياه الشرب. وتستعمل آبار الحقن من أجل تخزين المياه تحت الأرض واعادة استعمالها عند الحاجة.

ويتم استعمال هذه الطريقة في المناطق التي تحدث فيها فيضانات فجائية في المناطق الجافة بحيث تحجز المياه خلف سدود معدة مسبقا، ثم يتم حقنها الى الماء الجوفي. او في مناطق المدن التي تزداد فيها مياه الأمطار التي تجري في شوارعها أثناء العواصف المطرية، لذلك فان بالامكان جمع هذه المياه عن طريقة شبكات مجاري خاصة بمياه الأمطار ثم حقنها الى الماء الجوفي.

نوعية المياه الجوفية Ground Water Quality

تحتوي المياه الجوفية على أنواع مختلفة من الأملاح بنسب تركيز مختلفة وذلك بسبب تنوع مصادر تلك المياه، فالمياه الجوفية لا توجد عادة بحالة نقية بل نجدها تحتوي على مواد عالقة وأخرى مذابة فيها، مما يحدد نوعيتها.

وتعتبر جميع العمليات والتفاعلات التي أثرت على المياه منذ تكاثفها في الجو وحتى خروجها عن طريق الينابيع أو ضخها من الآبار، هي المسؤولة عن الصفات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه الجوفية.

الخواص الفيزيائية :

من صفات الماء النقي انه شفاف، ولكن بسبب المواد العالقة فيه مثل الطين والغرين والمواد العضوية الدقيقة يصبح الماء عكرا.

1. الطعم واللون والرائحة :

الماء الصالح للشرب ليس له طعم ولا لون ولا رائحة، ولكن احتواء الماء على عناصر معينة يؤدي الى تغير لونه أو طعمه او رائحته. فمثلا نجد ان المياه المحتوية على كبريتيد الهيدروجين تكون ذات لون أزرق، ومياه المستنقعات

الغنية بالحوامض المنحلة تكون ذات لون أصفر، والمياه التي تحتوي على المنغنيز ذات لون أسود، والمياه المحتوية على الحديد ذات لون أخضر.

أما بالنسبة للطعم فان وجود كبريتيد الهيدروجين يعطي المياه رائحة البيض الفاسد، واذا احتوى الماء على كمية كبيرة من المركبات النيتروجينية ذات منشأ عضوي فان مذاقه سيكون حلوا وهكذا.....

واذا تراوحت الكائنات الدقيقة بين 1000–2000 ملغم /لتر فان الانسان يمكن أن يميز رائحة الماء. واذا زادت هذه الكائنات الدقيقة عن 2000 ملغم/لتر فانها تصبح مزعجة.

2. الحرارة :

تعتمد درجة حرارة الماء الجوفي على عمق وعلى سمك الطبقة الحاملة للماء وعلى قربها من البراكين. ويكن تقسيم المياه الجوفية حسب درجة حرارتها الى :

أ. مياه باردة ودافئة : وهي التي تصل حرارتها الى 37° م.

ب. مياه ساخنة وساخنة جداً وهي التي تزيد حرارتها عن 37° م.

3. المواد العالقة :

تتكون المواد العالقة في الماء الجوفي من مواد عضوية ومواد غير عضوية. ويمكن قياس مجموع المواد الصلبة العالقة Total dissolved solids (TDS) بواسطة الترشيح.

وتقسم المياه حسب TDS الى الأنواع التالية :

أ. مياه عذبة : تكون فيها كمية المواد العالقة TDS أقل من 1000 ملغم/لتر.

ب. مياه متوسطة الملوحة : تتراوح فيها كمية المواد العالقة TDS بين 3000– 10000ملغم/لتر

جـ. مياه مالحة وتتراوح فيها كميـة المـواد العالقـة TDS بـين 10000–35000 ملغم / لتر.

د. مياه مالحة جداً تزيد فيها كمية المواد العالقة TDS عن 35000 ملغم/لتر.

الخواص الكيماوية للماء :

1. العسرة الكلية (TH) Total hardness

وهي مجموع ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم في المـاء ويعـبر عنـها بـالملي مكافئ لكل لتر أو بالملغم لكل لتر من المكافئ الى كربونات الكالسيوم اي يعـبر عنها كمكافئ لكربونات الكالسيوم على النحو التالي :

$$TH = Ca.\frac{CaCo3}{Ca} + Mg.\frac{CaCo3}{Mg}$$

والأيونات الفلزية الثنائية التكافؤ مثل Zn^{++} , fe^{++}, Ca^{++}, Mg^{++} ... الخ تسبب عسرة الماء.

ومن الجدير ذكره أن استعمال المـاء العسـر يقلـل مـن نوعيـة الانتـاج الصناعي. وتقسم المياه حسب عسرتها الى ما يلي :

أ. مياه يسره (غير عسره) : وتتراوح عسرتها بين 0 – 60 ملغم/لتر.

ب. مياه متوسطة العسرة : وتتراوح عسرتها بين 61 – 120 ملغم/لتر.

جـ. مياه عسرة : وتتراوح عسرتها بين 121 – 180 ملغم/لتر.

د. مياه عسرة جداً : وتزيد عسرتها عن 181 ملغم/لتر.

2. قلوية الماء وحموضته :

يعبر عن القلوية والحموضة بـ PH وهو عبارة عن تركيز أيون الهيدروجين في الماء.

فاذا كانت قيمة الـ PH في الماء أكثر من 7 فان المياه تكون قلوية (مالحة)، واذا انخفضت قيمة الـ PH عن 7 فان المياه تكون حامضية، واذا كانت قيمة الـ PH 7 فان المياه تكون محايدة / متعادلة.

التسرب Infiltration

لا يزال هذا الموضوع قيد البحث رغم العدد الكبير من الأبحاث التي غطت المواضيع التالية :

- اختلاف وقت التسرب في التربة في فصل الأمطار.
- العمق الذي يمكن ان تصل اليه جبهة الرطوبة.
- كمية المياه المتسربة في التربة حتى تصل الى مرحلة تغذية الطبقات الحاملة للماء الجوفي.
- تقدير رطوبة التربة الموجودة في التربة عند بداية سقوط الأمطار.

وحتى تتم عملية التسرب الى الطبقات الحاوية للماء الجوفي لابد من التعرف الى موضوع المسامية وهي نسبة حجم الفراغات الموجودة في التربة الى

حجم العينة المراد قياس مساميتها. ويمكن قياس المسامية حسب المعادلة التالية :

$$n = 100x\frac{vp}{v}$$

حيث أن :

n = نسبة المسامية.

vp = عدد المسامات في العينة.

v = الحجم الكلي للعينة.

وتعتمد المسامية على حجم حبيبات التربة وكيفية تركيبها في ظروف عادية، وتتراوح المسامية السطحية كما يلي :

الصلصال	=	45 – 55٪
الصلصال الرملي	=	40 – 50٪
الرمل	=	30 – 40٪
الحصى	=	30 – 40٪
رمل وحصى	=	20 – 35٪

وعندما تصبح الفراغات الموجودة في التربة مملوءة بالماء فان التربة تصبح مشبعة بالماء وبعد ذلك تبدأ حركة الماء في الفراغات من خلال الترشيح تحت تأثير الجاذبية، ويمكن عندما تكون الفراغات مملوءة جزئيا بالماء وتكون التربة غير مشبعة بالماء أن تصبح حركة الماء مرتبطة باحتمالية معقدة.

ويمكن حساب رطوبة التربة كما يلي :

$$W = 100\frac{n}{v}$$

W = رطوبة التربة.

n = وزن الماء في عينة التربة.

v = وزن عينة التربة مجففة على درجة 105 م.

وتصنف رطوبة التربة الى الرطوبة القصوى .W.Max وتحدث عندما تكون المسامات بين حبيبات التربة مملوءة بالماء بسعتها القصوى (السعة الحقلية). والرطوبة الدنيا .W.Min وتحدث عندما يبقى في مسامات التربة مياه الجاذبية فقط والتي لا تستطيع النباتات رفعها (امتصاصها) والاستفادة منها.

أما عجز الرطوبة فيمكن حسابه كالتالي :

$$DW = W.\ Max. - Wo$$

حيث أن:

Wo هي رطوبة التربة الموجودة فيها اثناء القياس.

W.Max هي الرطوبة القصوى للتربة.

النفاذية Permeability

وهي قدرة التربة او الصخر على ايصالية الماء. وتعتمد اعتمادا مباشرا على المسامية فاذا كانت المسامية عالية فإن النفاذية قليلة، واذا كانت المسامية قليلة كانت النفاذية عالية. اي أن العلاقة بين النفاذية والمسامية هي علاقة عكسية، فالطين مثلا مساميته عالية لكن نفاذيته قليلة، أما الرمل فمساميته قليلة لكن نفاذيته عالية.

وتعرف نفاذية المادة بمعامل نفاذيتها Coefficient of permeability

ويرمز له بالحرف (K) ويعتمد معامل النفاذية على المسامية والتركيب والعمر الجيولوجي للصخر وحجم وشكل وتوزيع الحبيبات في المادة (جدول 7).

ويمكن قياس النفاذية حسب المعادلة التالية :

$$K = C\, d_{10}^{2}$$

حيث أن

K = معامل النفاذية (م/يوم)

C = ثابت وتتراوح قيمته بين 400 – 1200 ومعدله 1000

d_{10} = حجم الحبيبات (بالمليمتر) حيث أن 10٪ من الحبيبات هي أكثر نعومة و 90٪ هي الأخشن.

جدول (7) درجات النفاذية

التسلسل	درجة النفاذية	السرعة سم/ساعة
.1	بطيئة جدا	أقل من 0.215
.2	بطيئة	0.5 – 0.216
.3	معتدلة البطء	2.0 – 0.6
.4	متوسطة	6.25 – 2.1
.5	معتدلة السرعة	12.5 – 6.26
.6	سريعة	25.0 – 12.6
.7	سريعة جدا	أكثر من 25

حركة الماء الجوفي :

تعتمد حركة الماء الجوفي على النفاذية ولكن قياسها يعتمد على القانون الأساسي وهو قانون دارسي Darrcys Low وينص هذا القانون على أن معدل الجريان لوحدة المساحة بطبقة حاملة للمياه يتناسب طردياً مع انحدار الشحنة الكامنة Potential head باتجاه الجريان ومعامل النفاذية K.

ولطبقة حاملة للماء مساحتها A والمساحة عمودية على الجريان فان حركة الماء الجوفي يمكن وضعها حسب معادلة دارسي كما يلي :

$$Q = VA = KAi$$

حيث أن:

V = سرعة الماء م/ث (وتسمى بالسرعة النوعية).

i = الانحدار الهايدوليكي.

والسرعة النوعية هي ليست السرعة الحقيقية ولكنها التصريف على المساحة $1 = \frac{Q}{A}$ والسرعة الحقيقة في الفجوات هي أكبر من السرعة النوعية.

$$\text{ومعدل السرعة الحقيقية} = \frac{\text{التصريف}}{\text{مساحة الممر المائي}}$$

مقدار التسرب Volume of Infiltration

ان تصريف الماء أو حركته من سطح الأرض الى داخل الأرض من خلال المسامات الموجودة في التربة تسمى بعملية التسرب Infiltration كما أن التصريف عن طريق الجاذبية الى داخل الطبقات الصخرية يؤدي الى تسرب كبير للماء، كذلك تلعب الخاصية الشعرية Capillary force دوراً مهما في

حركة الماء في اتجاهات مختلفة تبعا لاختلاف الرطوبة من الجاف الى الرطب. هذه القوى تخفي المياه في مسامات صغيرة وتكون حركة الماء وكميتها بطيئة وقليلة، ولكن حين يجد الماء طريقه الى التربة فانه يبدأ بالتقطير **Percolation**.

ويقدر التسرب بالملم/ساعة في ظروف معينة، كما أن مقدار التسرب يعتمد على خصائص التربة الفيزيائية وعلى مقدار محتواها من الرطوبة وعلى الغطاء النباتي ودرجة انحدار السطح وعلى خصائص الأمطار.

التربة ذات النسيج الخشن عادة فيها مسامات أوسع أو أكبر من تلك الترب ذات النسيج الناعم، وكذلك فان مقدار التسرب في الترب الرملية أكثر بكثير من الترب الطينية. وتساعد النباتات على زيادة حجم المسامات في التربة. وقد أثبتت الدراسات أن مقدار التسرب في ترب المستنقعات السلتية اللومية بعد 90 دقيقة هو 1.34 بوصة /هتكار، أما نفس الأرض مغطاة بنباتات الحلفا فان مقدار التسرب هو 0.82 بوصة/هكتار. (جدول رقم (8).

جدول رقم (8): معدلات التسرب للمياه حسب الغطاء النباتي

الغطاء النباتي	التسرب السنوي / بوصة
أراضي عارية	7.7
أراضي مغطاة بالصنوبر	15.1
أراضي مغطاة بالأعشاب	16.7
أراضي مغطاة بالحبوب	17.2
أراضي مغطاة بالبلوط القزمي	17.4

وقد وضع هورتون Horton معادلة للتسرب كما يلي :

$$fp = fc + (fo - fc) \exp(-kt)$$

حيث أن:

fp = مقدار التسرب البوصة / ساعة منذ بداية سقوط الأمطار.

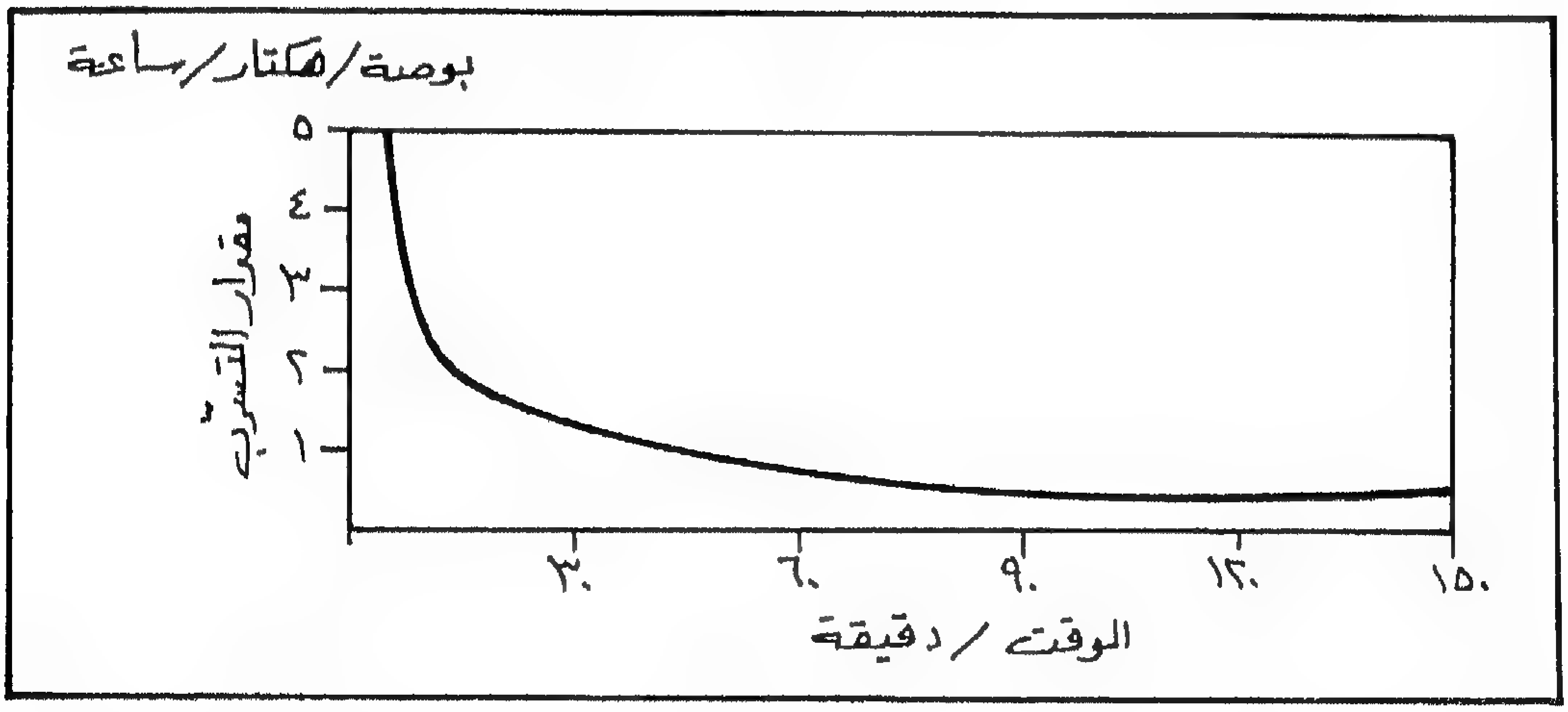
fo = مقدار التسرب الأساسي.

fc = الحد الأدنى الثابت للتسرب.

k = ثابت.

t = الوقت.

وهذا ما يوضحه الشكل التالي : (الشكل 43)



شكل (43) مقدار التسرب / بوصة / ساعة

البحث عن المياه الجوفية Ground water exploration

الطبقة المائية الجوفية هي : التكوين الجيولوجي الذي يحتوي على الماء بكمية اقتصادية.

ومن صفات الطبقات المائية أنها مسامية ونفوذة ومشبعة بالماء. وهناك رسوبيات جيولوجية معينة تكون الطبقات المائية الجوفية فيها وهي :

الرمال غير المتماسكة، والحصى gravel of flluvial والرسوبات الجليدية والنهرية، و مناطق الدلتا والصخور الرسوبية خاصة الحجر الجيري والدولومايت، والحجر الرملي والكونجلوميرات، والصخور النارية المسامية.

طرق البحث عن المياه الجوفية :

1. الطرق الجيولوجية

أ. التحضير المكتبي :

- الدراسات السابقة
- الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والهيدروجيولوجية.
- التقارير المنشورة.

ب. الاستطلاع الميداني الجيولوجي الأولي.

وذلك لمعرفه ظروف الترسيب والتفاعل، وبداية امتداد الطبقات الحاوية للماء وانتظامها. فالتكوين الصخري يشير الى كمية المياه المتوقعة وسمك

الطبقات، والتاريخ الجيولوجي يشير الى عمق الطبقات المائية واستمراريتها وترابطها وحدودها.

ج. تحديد أعماق الحفر:

عن طريق معرفة طبيعة الطبقات الصخرية العليا وسمكها وميلها. كما يعتمد وجود المياه الجوفية الى حد كبير على التضاريس الطبيعية وأشكال الأرض. لذلك فان تفسير الصور الجوية يستعمل بشكل واسع في البحث عن المياه الجوفية. اذ يمكن انشاء الموزاييك من الصور الجوية، يمكن من خلالها استخلاص خرائط مورفولوجية، وخرائط للتربة والنباتات فضلاً عن خرائط لشبكات التصريف المائي.

د. الحفر التجريبي:

تؤخذ عينات اسطوانية للمواد الجيولوجية وعينات من المياه لفحصها كيماويا ولمعرفة مستوى النطاق المائي.

ويستعمل وصف الآبار (آبار الحفر التجريبي) في تحضير المقاطع العرضية الطبقية وفي رسم السياج التخطيطي او الجيولوجي **Diagrams Fence** وخرائط خطوط السمك المتساوية **Isopach maps** وخرائط الوحدات الصخرية **Lithofacies maps**.

د. التفسير الهيدرولوجي :

يتضمن التفسير الهيدرولوجي رسم خرائط كنتورية لمستويات الماء وخرائط للطبقات المائية الجوفية المشبعة وعينات التحليل الكيماوي للمياه.

2. الطرق الجيوفيزيائية :

توفر هذه الطريقة معلومات اكثر عن ظروف الصخور تحت السطحية مثل نوع الصخور وتماسكها وعمق التجوية وعمق المياه الجوفية وعمق طبقات الأساس ومحتوى المياه من الأملاح.

وأكثر الطرق الجيوفيزيائية شيوعا في البحث عن الماء هي :

أ. طريقة الجاذبية Gravity method

ب. الطريقة المغناطيسية Magnetic method

جـ. طريقة المقاوميه الكهربائية Electrical resistively

د. طريقة المسح الزلزالي Seismic methods

هـ. طريقة المسوحات الحرارية Thermal serveys

و. طريقة الحفر الاختباري Test drilling

أ. طريقة الجاذبية :

تعتمد على قياس الاختلافات في الكثافة على سطح الأرض، والتي قد تدل على التراكيب الجيولوجية، وحيث أن هذه الطريقة باهظة التكاليف وبما أنه نادرا ما يمكن قياس الاختلافات في الوزن النوعي وفي كمية المياه الموجودة في الطبقات تحت السطحية فان هذه الطريقة لا تستعمل كثيرا في البحث عن المياه الجوفية، الا في حالات خاصة مثل الترسبات النهرية السميكة المحاطة بمنطقة جبلية حيث يمكن تحسسها من اختلافات الجذب.

ب. الطريقة المغناطيسية :

تعتمد على رسم المجال المغناطيسي للأرض، حيث أن الفروقات المغناطيسية نادراً ما ترتبط بوجود المياه الجوفية فانها لا تفي بالغرض كاملاً. لكننا نستطيع الاستفادة وبطريقتي المغناطيس والجاذبية في تعيين مواقع الفوالق falts الرئيسية ونطاقات التتابع الصخري للطبقات المتماسكة وغير المتماسكة.

وتستعمل الطريقة المغناطيسية لدراسة الطبقات المائية البازلتية والأحواض الغرينية المغطاة بالصخور الرسوبية.

ج. طريقة المقاومة الكهربائية :

المقاومة الكهربائية لتكوين صخري ما هي كمية التيار المار عبر التكوين الصخري عند تسليط جهد كهربائي بين وجهتين متقابلتين من وحدة مكعبه من المادة.

فاذا كانت مقاومة المادة R ومساحة مقطعها العرضي A وطولها L فيمكن التعبير عن المقاومة حسب المعادلة التالية :

$$S = \frac{RA}{L}$$

وتقاس وحدات المقاومة بـ أوم/م ويرمز للأوم بالرمز Ω ويرمز للمقاومة بالرمز Ω_m.

تتغير مقاومة التكوين الصخري نتيجة عدة عوامل مثل نوع المادة وكثافتها ومساميتها وشكل وحجم المسامات، وعلى المحتوى المائي ونوعيته

وعلى درجة الحرارة، فمقاومة الصخور النارية على سبيل المثال تعطي ما بين 10 – 10 اوم /م.

تعتمد طريقة المقاومة الكهربائية على ايجاد المقاومة الظاهرية (pa) للمواد تحت السطحية بامرار تيار كهربائي خلال الأرض وقياس فرق الجهد بين نقطتين أو بين قطبين.

يقاس فرق الجهد او الفولتية بواسطة قطبين منفصلين موضوعين بالتناسق والتماثل على الخط الواقع بين أقطاب التيار (شكل 44)، وتتكون الشبكة ذات الأقواس الدائرية من خطوط جريان التيار وخطوط الجهد المتساوية، وهي تحكم قياسات فرق الجهد والتيار فوق المنطقة تحت السطحية. لذا تعطي هذه القياسات مقاومة ظاهرية خلال عمق غير محدد. فكلما ازدادت المسافة بين الأقطاب كلما زاد عمق المجال الكهربائي واختلفت المقاومة الظاهرية.

وعند الحصول على خارطة خطوط المقاومة المتساوية يمكن معرفة التغيرات في صخور الأساس وفي عمق الطبقة المائية وفي تتبع ومعرفة الوديان المدفونة والفوالق والنطاقات المكسرة. كذلك يمكن التعرف على التغير في نوعية المياه وتداخل المياه العذبة بالمياه المالحة وخاصة في المناطق الساحلية. وعندما تنخفض المقاومة الكهربائية فان ذلك يغير فعاليته مع الماء المالح.

د. طريقة المسح الزلزالي :

تعتمد الطريقة الزلزالية على قياس سرعة الأمواج الصوتية المارة عبر الطبقات المختلفة وتحديد سرعتها بهدف حساب عمق هذه الطبقات.

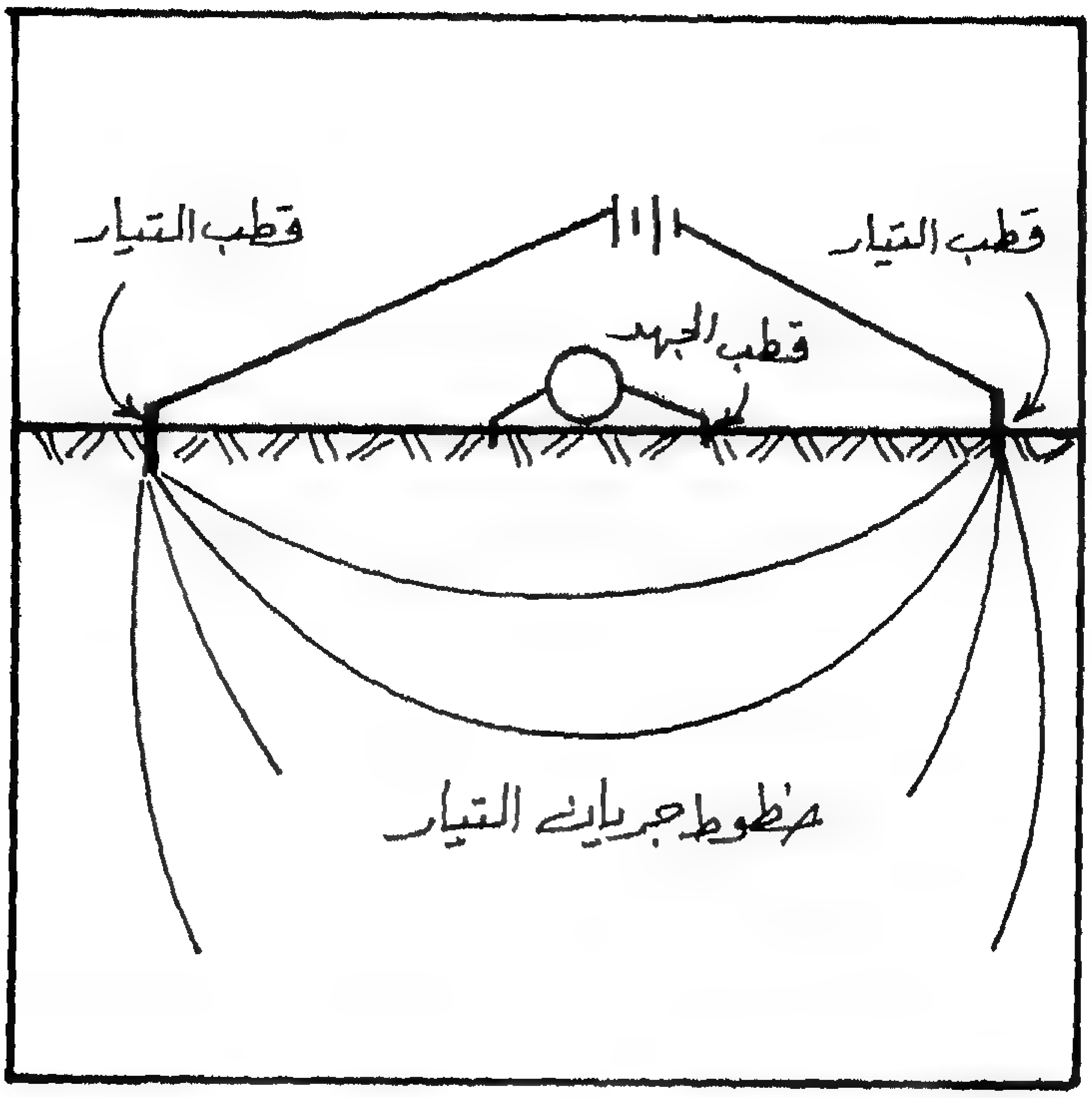
ويتم ذلك بعمل حفرة صغيرة عند سطح الأرض بواسطة صدمة من جهاز ثقيل أو تفجير شحنة صغيرة من الديناميت على عمق متر واحد أو أكثر قليلا. وقياس الوقت اللازم لوصول الموجة الصوتية الى مسافات معلومة بواسطة مكتشف الأصوات الذي يسمى الجيوفون Geophone أو المجس الموضوع على سطح الأرض.

يتصل الجيوفون بواسطة سلك بجهاز قياس الذبذبات Oscillograph او بجهاز آخر لتسجيل الموجة الصوتية الأولى التي تصل اليه بعد الصدمة الأولى (التفجير)، وتتراوح سرعة الموجات الصوتية بين 250م/ث في مواد التربة السطحية غير المشبعة الى حوالي 5000 م/ث وأكثر في الصخور المتبلورة (شكل 45).

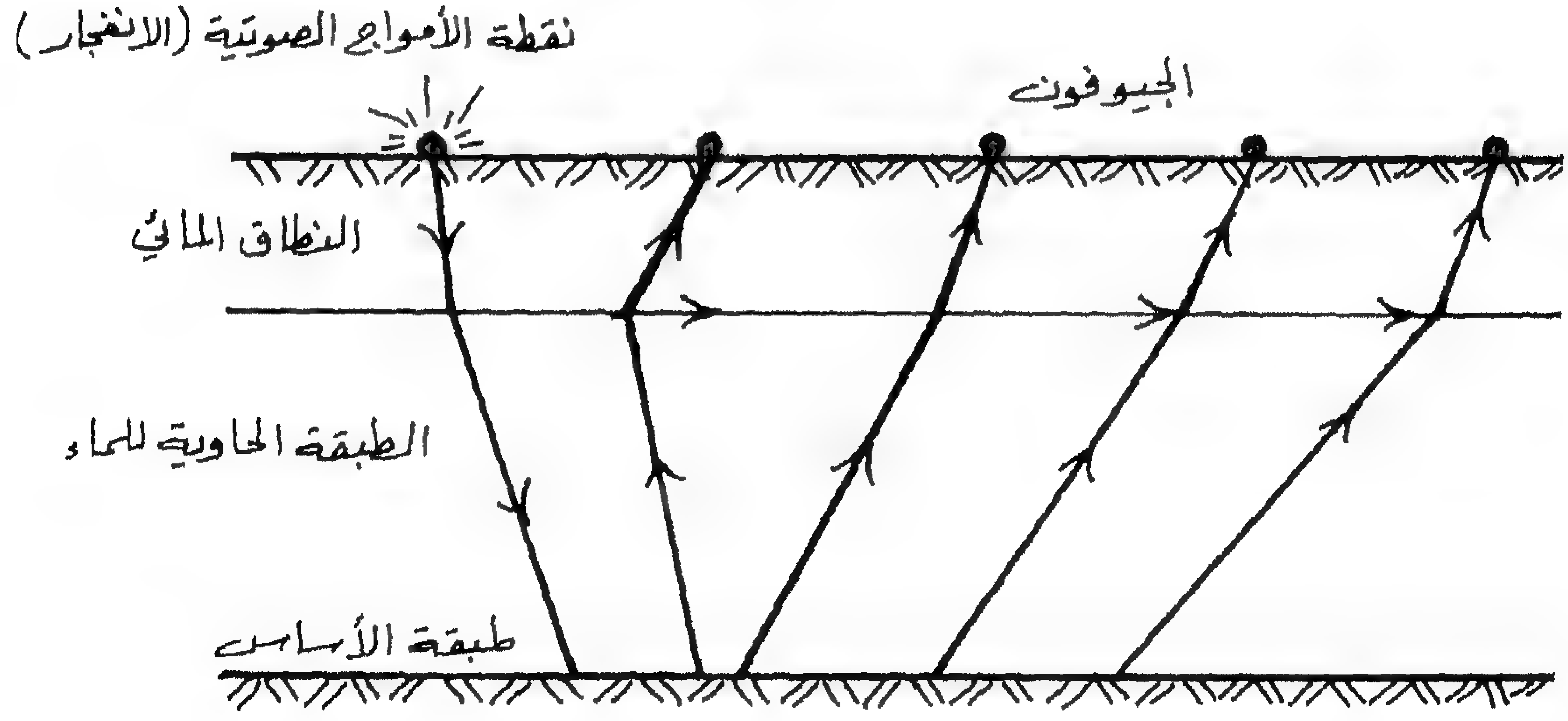
أما في المواد العميقة وغير المتماسكة فانها تصل ما بين 1500م – 2500م/ث في الحالة المشبعة وما بين 300 – 1000م/ث في الحالة غير المشبعة.

أما في الطبقات المائية غير المتماسكة فتصل سرعة الأمواج الصوتية الى 250م/ث وفي الصخور المهشمة أو المكسرة فتصل ما بين 1000 – 2500م/ث وفي الحجر الرملي 2000 – 3000م/ث وفي الحجر الجيري ما بين 2000 – 5000م/ث.

ويمكن تطبيق الطريقة الزلزالية الى أعماق تصل الى 100 متر وأكثر. الا أن هذه الطريقة غير شائعة الاستعمال.



شكل (44) البحث عن الماء الجوفي بواسطة قياس فرق الجهد



شكل (45) طريقة الانكسار السيزمية لمعرفة عمق الماء الجوفي

هـ - المسوحات الحرارية :

نستطيع بواسطتها أن نشير الى مواقع الطبقـات المائيـة الضحلـة، حيـث تعمل مثل هذه الطبقات المائية على احتواء الحرارة خلال المواسم البـاردة أي في الشتـاء والخريـف. الأمـر الـذي يسـبب شـذوذاً حرارياً في الطبقـات المائيـة أو بالقرب منها.

و. الحفر الاختباري :

يقدم الحفر الاختبـاري معلومـات صحيحـة عـن سمـك الطبقـات المائيـة ونوعيتها وعن التركيب الجيولوجي أيضاً.

ويتم حفر هذه الآبار بأقطار صغيرة للتحقـق مـن الظـروف الجيولوجيـة وظروف المياه الجوفية. وفي حالة نجاح البئر يمكـن اعـادة الحفـر وتوسـيعه بقطـر أكبر ليصبح بئرا منتجاً يمكن ضخ المياه منه. ويتم تحديد مواقع الآبار الاختباريـة بناء على نتـائج الدراسـات الجيولوجيـة والجيوفيزيائيـة. وفي الطبقـات الضحلـة يمكن حفر الآبار بواسطة مثقب drill. وتعد هذه الطريقة الأكثر شيوعا والأقـل تكاليفا بين الطرق.

الينابيع : Spring

تتكـون الينابيع عند خروج الماء الباطني الى سطح الأرض بشكل طبيعي نتيجة لعوامل الحت المختلفـة، أو نتيجـة الصـدوع الـتي تصيـب سـطح القشـرة الأرضية. ويكون خروج المياه الجوفية لسطح الأرض ضمن جريان مائي ضعيف

او قوي حسب كثافة ومستوى الماء الجوفي.

وتوجد الينابيع بعدة أشكال أهمها:

1. ينابيع التعرية:

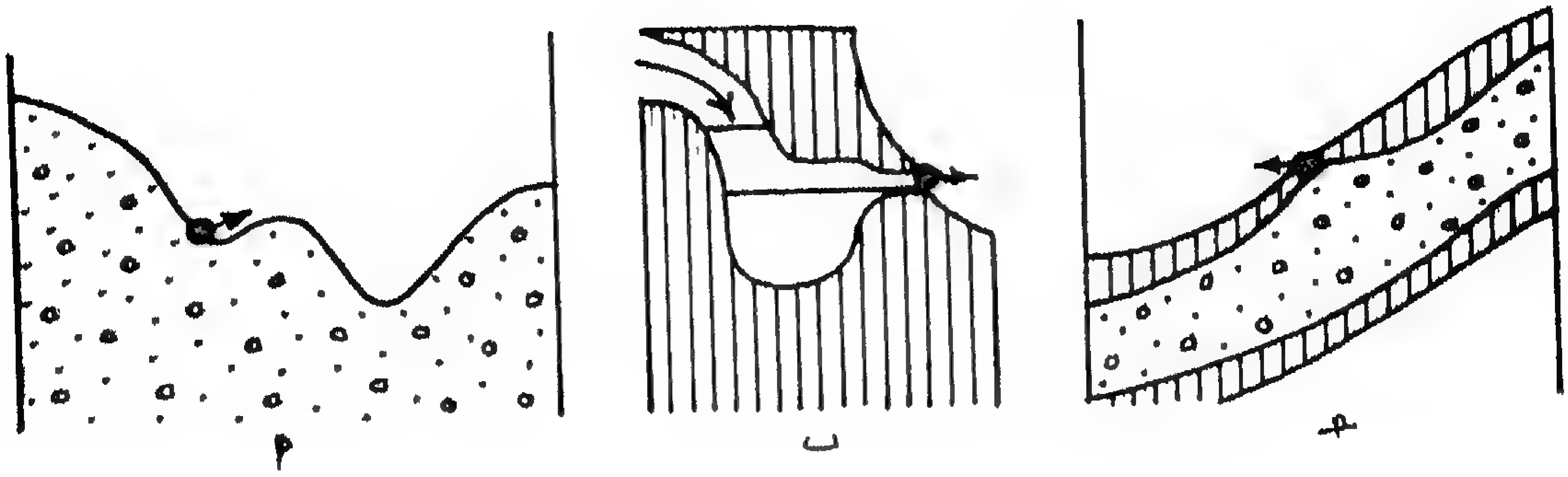
تتكون ينابيع التعرية عندما يتقاطع سطح الأرض في منخفض (وادي) مع سطح الماء الجوفي Water table. وتسمى أحيانا بينابيع مستوى الماء الجوفي Water table spring، وعادة ما يكون تصريف هذه الينابيع صغيرا. (شكل 46 أ).

ب. ينابيع التجمع أو الينبوع السيفوني :

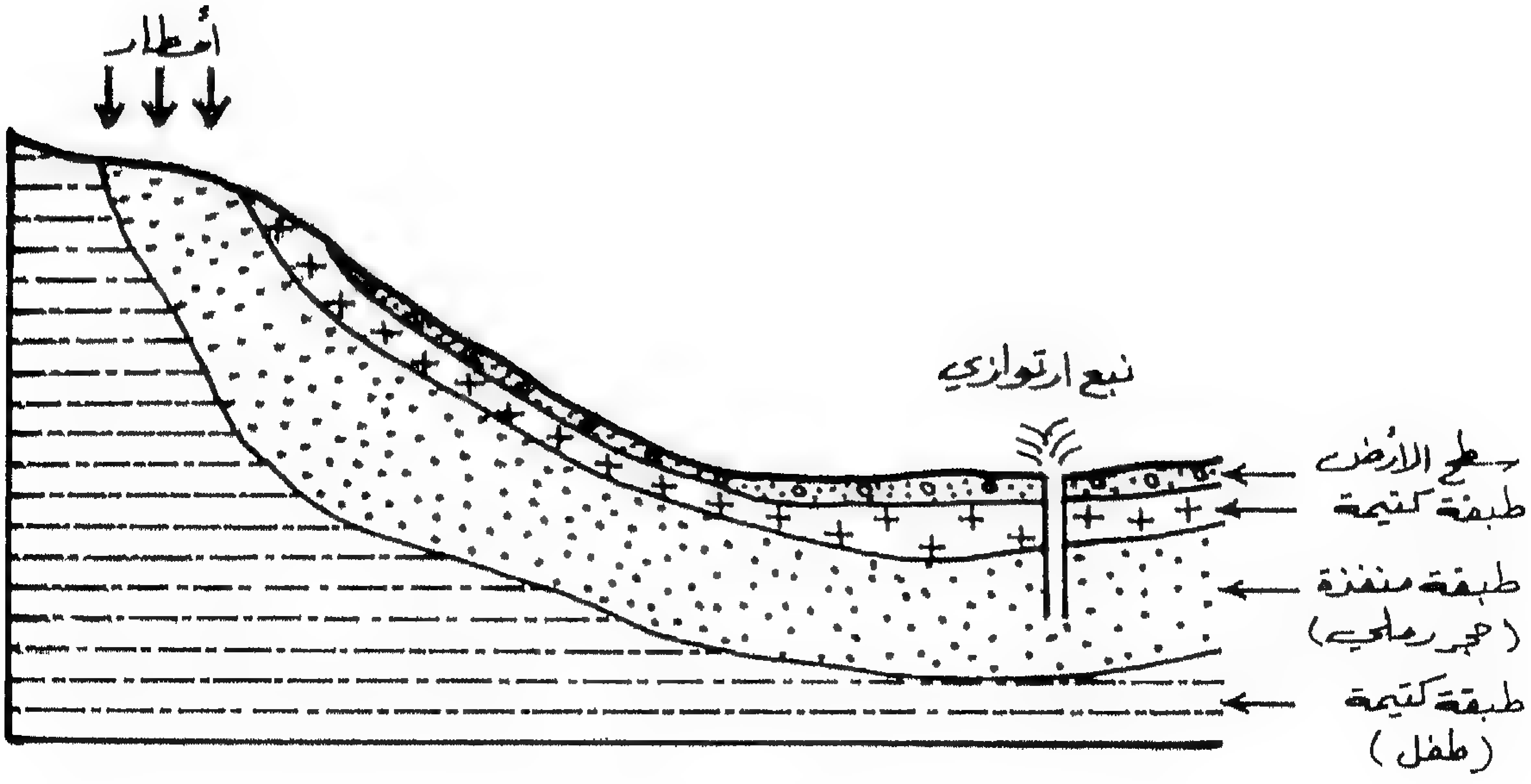
وتكون هذه الينابيع شكلاً من أشكال الينابيع الكارستية الكلسية، حيث تخرج المياه الجوفية من الكهوف الكارستية عندما يكون مستوى الماء الجوفي مرتفعاً فوق مستوى خروج الماء، ويتوقف خروج الماء عندما ينخفض مستوى الماء الجوفي عن مستوى خروج الماء (شكل 46ب).

ج. ينابيع الوسط المائي :

عند خروج الماء الجوفي داخل وسط مائي (مجرى نهر، بحيرة، بحر) تسمى بينابيع الوسط المائي وهي في الغالب غير مرئية (شكل 46 ج)



شكل (46) الينابيع أ– ينابيع حت ب– ينابيع تجمع (سيفوني) جـ– ينابيع وسط مائي



شكل (47) التدفق الارتوازي

2. ينابيع التلاقي:

تتكون ينابيع التلاقي عندما تتقابل الطبقة غير المنفذه والطبقة الحاملة للماء مع سطح الأرض، وغالبا ما توجد هذه الينابيع عند سفوح الجبال وهي قليلة التصريف.

3. الينابيع الارتوازية:

تتكون الينابيع الارتوازية عندما يخرج الماء الجوفي المحصور والمضغوط بين طبقتين غير منفذتين نتيجة ضعف الطبقة غير المنفذة العليا أو نتيجة لوجود شق فيها. وعادة ما يكون تصريف هذه الينابيع كبيراً. (شكل 47)

4. الينابيع الحارة:

تتكون الينابيع الحارة نتيجة للغازات والحرارة تحت سطح الأرض والتي يتدفق منها الماء على شكل نافورة احيانا او على فترات. وتكون الينابيع حارة اذا زادت درجة حرارة مياهها عن 5° م عن معدل درجة حرارة الهواء المحيط بمنطقة خروجها. وتصبح مياه هذه الينابيع مالحة اذا زادت فيها نسبة الأملاح من 50غم/لتر.

وتقسم الينابيع الحارة والمعدنية الى ما يلي :

أ. ينابيع الشقوق الحارة : وهي المياه التي تخرج من شقوق وفراغات الصخور العميقة.

ب. ينابيع الصدوع والفوالق الحارة : وهي المياه التي تخرج على امتداد الصدوع والفوالق.

ج. ينابيع مناطق التماس الحارة : وهي المياه التي تخرج من مناطق تماس الصخور مع الطبقات الصخرية الحارة.

د. ينابيع الطي الحارة : وهي المياه التي تخرج من الطبقات التي تعرضت لعوامل الطي.

هـ. ينابيع غرينية حارة : وهي المياه التي تخرج من طبقات مغطاة بالغرين وقادمة من الأسفل.

وتمتاز مياه الينابيع الحارة والمعدنية بارتفاع درجة حرارتها واحتوائها على المواد المذابة وغير المذابة وعلى الغازات والأبخرة وأحياناً العناصر المشعة. وعند خروجها الى سطح الأرض تبدأ الغازات بالتطاير وتنخفض درجة حرارة المياه ويقل ضغطها، وعندما تكون نسبة المواد المذابة في هذه المياه مرتفعة تبدأ

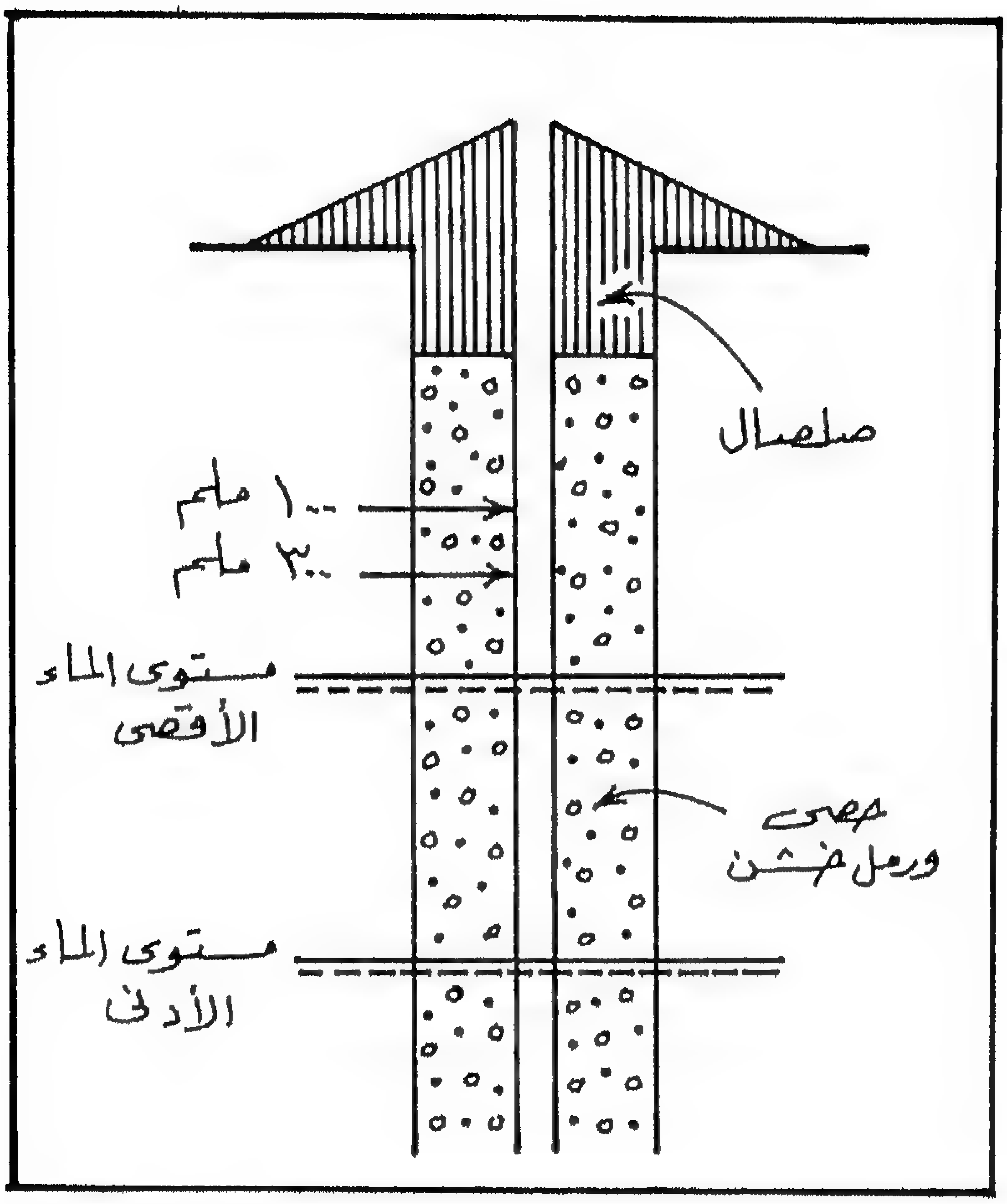
بالترسب حول الينابيع الحارة حال انسيابها.

ويمكن تصنيف الينابيع بشكل عام حسب كثافة تصريفها الى ما يلي:

1. ينابيع ذات تصريف ثابت جداً، ويتراوح تصريفها بين 1–2 م^3/ث.
2. ينابيع ذات تصريف ثابت ، ويتراوح تصريفها بين 2–10 م^3/ث.
3. ينابيع ذات تصريف متذبذب، ويتراوح تصريفها بين 30–40 م^3/ث.
4. ينابيع ذات تصريف متذبذب جداً، ويتراوح تصريفها بين 30–100 م^3/ث.

قياس مستوى الماء الجوفي

بسبب كون المياه الجوفية مخفية تحت سطح الأرض فانه من الضروري انشاء حفرة أو مجموعة من الحفر والتي تصل الى الطبقة الحاملة للماء. ننزل عمود من المعدن فيها بقطر 300 ملم، ويكون في داخل هذا العامود عامود آخر قطره 100ملم ويكون هذين العمودين مثقوبين من الأسفل لكي تتيح لنا معرفة ما اذا كان هناك ماء جوفي أم لا. يملأ الفراغ الموجود بين العمودين بالحصى من الأعماق وحتى ارتفاع المتر تقريبا قبل مستوى سطح الأرض حيث يملأ هذا المتر الفارغ بالصلصال. أما العمود الداخلي فيبرز خارج سطح الأرض ويكون له غطاء محكم حتى يمنع دخول مواد غريبة داخل هذا العامود، ويبدأ قياس عمق الماء من سطح العامود الخارجي الواقع مباشرة مع مستوى سطح الأرض. ويتم القياس بقراءة الرقم الموضوع على العمود الداخلي، ويكون في نهاية العامود الداخلي "اسطوانة" تعطي رنيناً (صوت) عند اتصالها بالماء. وهنا تتوقف عملية الحفر، ثم تؤخذ قراءة العمق الذي وجد فيه الماء. (شكل 48)



شكل (48) قياس مستوى الماء الجوفي

الفصل الخامس

البحيرات والمستنقعات

البحيرات عبارة عن أحـواض أرضيـة مقعـرة أو منخفضـات تضريسـية مغلقة ممتلئة بالمياه. وتتفاوت مساحاتها وأعماقها تفاوتا كبيرا وفق الموازنة المائيـة لكل منها. وتتميز البحيرات عن المسـتنقعات والسـبخات بخلوهـا مـن النباتـات الطبيعية وزيادة عمقها.

يقدر حجم مياه البحيرات في العـالم بحـوالي 125 ألـف كيلومـتر مكعـب وهذا يوازي 0.4٪ من جملة المياه العذبـة الموجـودة في الكتـل القاريـة المختلفـة. وتغطي تلك البحيرات مساحة تقدر بنحو 830 ألف كـم^2. وينحصـر نحـو 80٪ من حجم مياه البحريات في العالم بعدد محدود من البحيرات لا يتجاوز الأربعـين بحيرة، وتتوزع الـ 20٪ الباقية على عـدد هـائل منـها لا حصـر لـه، ففـي ولايـة ألاسكا الأمريكية وحدها نحو ثلاثة ملايين بحيرة.

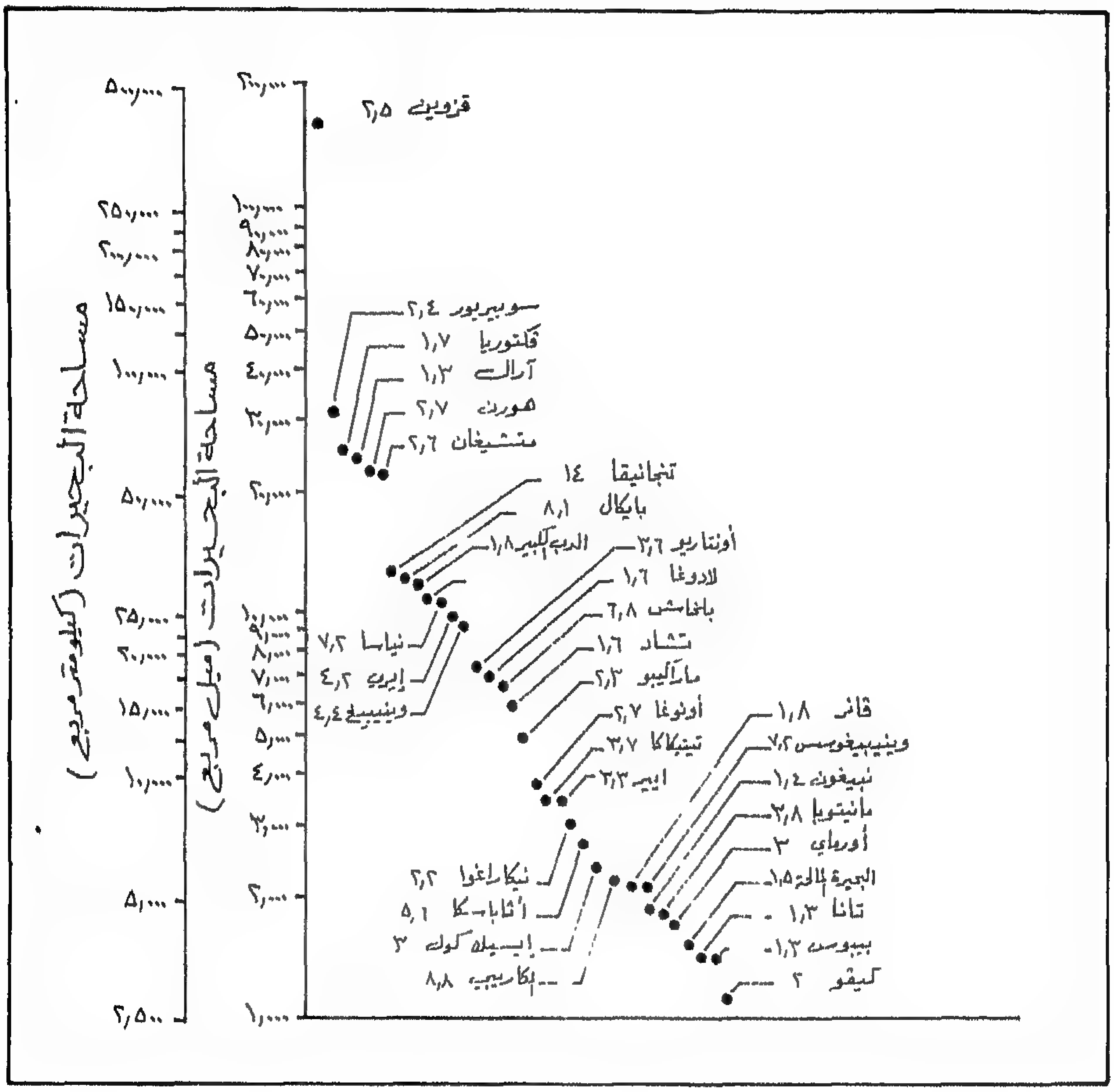
وتعد بحيرة بايكال أضخم بحيرة في العالم من حيث حجم المياه كما انـها الأعمق، اذ تحتوي على 22 ألف كم^3 من الميـاه، تليـها بحـيرة تنجانيفـا (19ألـف كـم^3) ثـم بحـيرة سـوبيريور (12 ألـف كـم^3). أي أن هـذه البحـيرات الثـلاث تضمان معاً 42.4٪ من مجمل مياه بحيرات العالم.

شكل البحيرات ومساحتها :

يحتل بحر قزوين المرتبـة الأولى مـن حيـث المسـاحة، اذ تصـل مسـاحته

قرابة 436.000 كم^2، ويعد هذا البحر استثناء بمساحته كما هو ملاحظ بالشكل (49) ويلاحظ أن أكبر البحيرات هي تلك الناجمة عن حركات تكتونية أو الناجمة عن الحركات الجليدية مثل Laurentian Great lakes وهناك مجموعة اخرى تتميز بطولها وعمقها مثل بحيرات الأودية الجليدية، والفيوردات، وبحيرات السدود. وهناك مجموعة أخرى تتميز بكبر عددها، ولكنها بحيرات متواضعة المساحة والعمق مثل : Scour lakes، بحيرات الحلبة الجليدية Cirques، البحيرات الكوعية Oxbow lakes، بحيرات الضفاف Levee lakes، ثم Kettle lakes، Wetland lakes واللاجون Lagoons، والبحيرات الاصطناعية الصغيرة.

يبين الشكل رقم (49) النسبة بين الطول والعرض للبحيرات التي تزيد مساحتها عن 2500كم^2. بحيث يلاحظ أن هذه النسبة ترتفع في البحيرات الصدعية مثل بحيرة بايكال ونياسا وتنجانيقا، او البحيرات الصناعية مثل بحيرة ناصر عند نهر النيل وبحيرة Kariba على نهر الزمبيزي بأفريقيا. ويجب الأخذ بالاعتبار بأن البحيرات الأكبر ليست هي الأعمق. فبحيرة بايكال هي أعمق بحيرة في العالم اذ يصل معدل عمقها نحو 1610 متر، تليها بحيرة تنجانيقا بعمق يصل الى 170متر، أما بحر قزوين فان معدل عمقه يصل الى 945متر، وبحيرة فكتوريا لا يزيد عمقها عن 79 متر فقط، وهناك بحيرة تشاد التي أصبح جزء كبيرا منها جاف. مثال آخر فان بحيرة الملح الكبرى بولاية يوتا الامريكية فان مساحتها تتراوح ما بين 2900 – 5200كم^2 بمعدل عمق يصل 11 متر فقط، كما أن بحيرة كيفو تصل بمساحتها الى 2700كم^2 فان عمقها يصل الى 489م، بينما بحيرة Crater التي تصل مساحتها 52كم^2 فقط فان عمقها يزيد عن 580 متر.



شكل (49) النسبة بين الطول والعرض للبحيرات التي تزيد مساحتها عن 2500 كم²

تصنيف البحيرات حسب نشاتها :

يمكن تقسيم بحيرات العالم حسب نشأتها الى المجموعات التالية :

1. البحيرات التي نشأت بفعل الحركات الأرضية :

تسبب الحركات الأرضية الكبرى كما حصل بنهاية المايوسين تكون فجوات أرضية قد تمتلئ بالمياه اذا توفر مصدر مناسب لها. وقد يكون بعضها كبير المساحة مثل بحر آرال وبحر قزوين. فبحيرة فكتوريا نجمت عن ارتخاء وهبوط في القشرة الأرضية، وبحيرة بايكال ونياسا وتنجانيقا والميت نجمت جميعها بسبب حركات أرضية ضخمة.

وهناك بحيرات ناجمة عن الحركات الأرضية التي يرافقها انبثاق براكين، تشغل فوهاتها أحيانا بحيرات مثل بحيرة كريتر بولاية اوريغون، وقد تسبب الحمم البركانية اغلاق المجاري المائية الطبيعية فتتكون أمام هذا السد الطبيعي بحيرة مثل بحيرة كيفو وبحيرة طبرية. وقد تنجم بحيرات مؤقتة أمام كتل أرضية تنزلق لتغلق المجاري المائية الطبيعية ولكن لا تلبث مثل هذه البحيرات وتزول بفعل التعرية المائية.

2. البحيرات الجليدية :

وهذا النوع يمكن أن يحدث بسبب :

أ. اقفال مجروفات الأودية الجليدية للمجاري الطبيعية فتكون أمامها بحيرات مثل بحيرة **Duluth** وبحيرة **Malaspinor** بالاسكا.

ب. احتجاز المياه ما بين سلاسل من الارسابات الجليدية (مورينات) مثل بحيرة Finger lakes بنيويورك.

ج. الحت الجليدي Ice scour مثل البحيرات الموجودة بمنطقة Canadian and Scandinavian shield (الدرع الكندي والدرع الاسكندنافي).

د. تأثير التقلص والتمدد (Freeze - thaw) عند رؤوس الثلاجات الجبلية مثال ذلك بحيرات السيرك Cirque lakes

هـ. بحيرات الأودية الجليدية وتدعى هذه الظاهرة بالفيوردات.

و. تشغل المياه رقاعاً صغيرة في المناطق التي غزتها الجليديات تتميز بتواضع أبعادها ويسمى هذا النوع Kettle ومن الجدير ذكره أن البحيرات العملاقة بالدرع الكندي مثل بحيرة الدب الكبير، وبحيرة العبد الكبير، وبحيرة Athabasca وبحيرة وينبغ Winnipeg وبحيرة Laurentian great lakes تعود جميعها الى اجتياح الجليديات لهذه المنطقة.

3. بحيرات تكونت بفعل الارسابات النهرية.

تنشأ البحيرات بفعل الرواسب النهرية على الشكل التالي :

أ. عند مصبات الأنهار.

ب. على جوانب النهر (بحيرات الضفاف)

ج. البحيرات الكوعية الناجمة عن تطور الأكواع النهرية.

د. بحيرات طولية ناجمة عن هجرة النهر لمجراه الاعتيادي.

4. البحيرات الناجمة عن الحت والارساب الريحي :

تعمل الرياح على نحت المناطق الضعيفة التكوين ضمن المناطق الجافة، بحيث تعمل على تقعرها حتى تصل الى مستوى الماء الجوفي الذي يشكل بانسيابه بحيرات صحراوية كما هو الحال بمنخفض النطرون بمصر حيث توجد بحيرات : الفاسدة، وام الريشه والرايزونية والحمراء والزحم والبيضاء والخضراء، وفي الأردن يمكن اعتبار منخفض الأزرق من هذا الطراز. وقد تعمل الارسابات الريحية في بعض المناطق شبه الرطبة على تكون بحيرات متواضعة الأبعاد في المناطق الساحلية كما هو الحال بمنطقة **Les landes** بجنوب فرنسا.

5. البحيرات الاصطناعية :

تتكون أمام السدود على الأنهار الكبرى في العالم مثل بحيرة ناصر على نهر النيل وبحيرة كاريبا على نهر الزمبيزي وبحيرة ميد **Mead** بولاية اريزونا.

6. البحيرات الساحلية :

تشكل جزء منها اثر انحسار البحر بعد انتهاء فترة البلايستوسين، حيث عملت بعض الحواجز الصخرية والارسابية على حجز المياه خلفها، فتشكلت تلك البحيرات الساحلية كبحيرة المنزلة والبرلس ومريوط على الساحل الشمالي لمصر. أو بسبب عمليات الارساب التي تقوم بها التيارات البحرية بعيداً عن مناطق الدلتا.

وهناك أنواع أخرى من البحيرات تنشأ بفعل الاذابة الكارستية، او بفعل تجمع المواد العضوية على شكل برك عملاقة، أو بواسطة ذوبان آفاق التربة الدائمة التجمد.

كثافة مياه البحيرات :

تتأثر كثافة مياه البحيرات بالدرجة الأولى بدرجة الحرارة ثم المواد الصلبة العالقة والمواد الذائبة. أما تطبق الكثافة فتتأثر بشكل أوضح بالمواد العالقة الدقيقة جداً. ففي المياه العذبة فان أقصى كثافة لها تكون عندما تكون درجة حرارة المياه 4° م عند السطح، ثم تبدأ بالانخفاض كلما تعمقنا بسبب الضغط، حيث تصل درجة الحرارة الى 3.4° م على عمق 500متر.

وتحت الظروف الفصلية، وما ينتج عنها من تغير بدرجة حرارة السطح، فان حركة مزج للمياه لا تلبث وأن تظهر في محاولة للابقاء على التوازن الحراري. ففي المناطق الباردة جداً يتجمد سطح البحيرة، وتبقى الطبقات الاسفل منها أعلى كثافة نظرا لكون درجة الحرارة قريبة أو تساوي 4° م.

أما في الصيف عندما تزيد درجة حرارة المياه السطحية عن 4° م فان كثافة المياه العميقة تكون أعلى، وتبقى الكثافة متطبقة **Stratification** بشكل ثابت. حيث تنفصل الطبقة السطحية **Epiliminion** بشكل واضح عن المياه العميقة الباردة **Hypolimnion** .

يحصل الخلط بالبحيرات التي تقع ضمن المناطق المعتدلة مرتين بالسنة واحدة في الربيع وأخرى بالخريف وتدعى هذه البحيرات **Dimitic**، أما البحيرات الجبلية بمناطق العروض العليا حيث لا تزيد درجة حرارة المياه السطحية من 4° م فان المزج لا يحصل الا مرة واحدة في السنة وتدعى هذه البحيرات **Monomictic lake**. نفس الشيء يحصل في بحيرات العروض الدنيا حيث يمكن أن لا تقل درجة حرارة مياه سطح البحيرات هناك عن 4° م وبالتالي

فان عملية الخلط لا تحدث سوى مرة واحـدة بالسـنة. وتدعـى هـذه البحـيرات Moromictic ، والتي يبقى تطبق كثافتها ثابتاً نسبيا، مثال ذلك بحيرة تنجانيقـا، وان حصل خلط بها فيكون ناجماً عن تزودها بمياه طازجة جديدة.

دورة المياه ضمن البحيرات :

تتأثر حركة الميـاه في البحـيرات بشكـل رئيسـي بالريـاح. فعـدم انتظـام هبوب الرياح وعدم انتظام شكل البحيرات يؤدي الى عـدم انتظـام حركـة ميـاه البحيرات. وقد قامت عدة جهات بمحاولة لدراسة هذه الحركة بعدة وسائل عن طريق الملاحظة المباشرة والقياس واعداد النماذج الرياضية والاحصائية المعقـدة، ومن أبرز الجهود التي بذلت في هذا المجال على بحيرة أونتـاريو خـلال 18 شـهراً متواصلا (1972–1973)، والتي قامت بها : The International (IFYGL) Field Year on the Great Lakes.

وقد تبين من تطبيق العديد من المعادلات الخاصة بعلـم الهيدروميكـانيك وبخاصة نماذج Reynolds، ان حركة الرياح الثابتة ستؤدي الى نشوء ما يدعى Set up وقوف مياه سطح البحيرة. حيث تعمل الرياح القوية في المياه الضحلـة على ايجاد انحدار شديد ضمن ميـاه سـطح البحـيرة. وعندمـا تغيـب / او تختفـي الرياح القوية الثابتة يظهر تذبذب محلي بمستويات ميـاه سـطح البحـيرة وتدعـى هذه الظاهرة Seiches ومـن المرجـح ان تكـون هـذه الظـاهرة ناجمـة عـن تبـاين الضغط الجوي على نطاق محلي بين منطقة وأخرى من البحيرة.

وتسبب الرياح أيضا بوجود التيارات البحرية ضمن البحيرات الكـبرى

وبخاصة في المناطق المحاذية للسواحل، وتسجل بعضها سرعات عالية قد تصل الى 30سم/ ثانية وبخاصة بعد هبوب العواصف العنيفة، وتسير هذه التيارات عادة بجوار السواحل وبموازاته، بينما تكون سرعة التيارات المائية في الغالب أقل من سرعتها على السطح. كما يساهم اختلاف درجة حرارة مياه البحيرة واختلاف كثافتها تبعا لتتابع الفصول الى ظهور بعض التيارات المائية الداخلية. وقد طورت العديد من النماذج الرياضية لدراسة هذه التيارات المائية أشهرها (TGM) Topographic Gyre Model.

المستنقعات : Wetlands

وهي عبارة عن مسطحات مائية ضحلة تتجمع فيها العديد من خصائص المسطحات المائية والأراضي اليابسة فهي بساط رقيق من جذور النباتات الطبيعية يغمر بالمياه معظم الوقت أو خلال فترات محددة من السنة. ويمكن التمييز بين ثلاثة أنواع من هذه الأراضي المغمورة بالمياه.

أ. المستنقعات **Swamps** :

وهي مسطحات مائية أعماقها محدودة تنمو بها الأشجار بكثافة ومثال ذلك مستنقعات المانجروف في الأقاليم المعتدلة.

ب. السبخات **Marshes**:

مسطحات مائية ثابتة العمق تنمو بها الحشائش بكثافة واضحة وتكاد تخلو من الأشجار ويمكن مشاهدة المياه فيها بالعين المجردة. وتكثر في السهول الفيضية والأقاليم الساحلية في المناطق المدارية.

ج. المسطحات الموحلة Bogs

مسطحات خالية من الحركة تبدو جافة ولكنها في الحقيقة مبللة بالميـاه، وتنمو بها الطحالب بفصائلـها المختلفـة، وأغلـب تواجدهـا يكـون في العـروض المعتدلة والباردة.

وتعتبر المستنقعات بأنواعها المختلفة من البيئـات الطـاردة للسـكان، لمـا تسببه من خطر على حياة السكان، فهي موئل مناسب للبعـوض، الـذي يسـبب مرض الملاريا، كما أن بعض المـواد العضويـة يـؤدي الى تكويـن غـازات خانقـة ملوثة للجو. وقد لجات العديد من الـدول الى تجفيـف المسـتنقعات الـتي تسـبب ضررا مباشرا للسكان كما حدث في مصر، عندما جففت مياه المستنقعات الـتي تقع شرق بحيرة مريوط، وتجفيف بحيرة ابي قـير، كمـا لجـأت دولـة اسرائيل الى تجفيف مستنقعات الحولة بفلسطين المحتلة.

وللمستنقعات بعض الفوائد الهامة، فقد تكـون هـذه المسـتنقعات محطـة مهمة من محطات رحلة الطيور الفصلية كما في بعض مسـتنقعات الأزرق، كمـا أنها مزود رئيسي للمياه الجوفية بالمياه الطازجة، فضلا عن كونها خزانات مائيـة ضخمة تعمل على التخفيف أحيانا من حدة الفيضانات كما هو الحال في أهـوار العراق، كما أنها في بعض الأحيـان مصـائد مناسـبة للغبـار، وتحـد مـن الزوابـع الرملية في المناطق الصحراوية كما في جنوب العراق. وتعيش أحيانا بالمستنقعات أحياء مائية لها مردود اقتصـادي واضـح. حيـث تربـى بـها التماسـيح في بعـض المناطق، كما تزدهر بها أحيانا صناعة صيد السمك، والصيد البري، حيث تكثر الطيور البرية. وتستخدم المستنقعات أحيانا لأغراض السياحة كما في مستنقعات

افرجلادز بولاية فلوريدا، ومستنقعات برودلاند Broudland بمقاطعة East Anglia ببريطانيا، ومستنقعات كامارج Camargue في وادي الرون بفرنسا. كما تعد المستنقعات مصدرا مهما لمادة اللبد، والتي تمثل المراحل الأولى لتكون الفحم الحجري، حيث يجري تجفيفه ثم حرقه لأغراض مختلفة، كما في روسيا وفنلنده وايرلنده وألمانيا وكندا وماليزيا والولايات المتحدة الأمريكية.

البحار والمحيطات

تشغل البحار والمحيطات مساحة تقدر بنحو 367.2 مليون كم^2، أي ما يعادل 71٪ من مساحة الكرة الأرضية. وتضم البحار والمحيطات مياها يقدر حجمها بحوالي 1347.7 مليون كم^3، وهذا يعادل 97.3٪ من حجم مياه الكرة الأرضية البالغة قرابة 1385كم^3.

وتتفاوت نسبة المساحة التي تشغلها البحار والمحيطات من مكان الى آخر على سطح الكرة الأرضية، اذا أن المتفحص لجسم الكرة الأرضية يشاهد بأن الماء هو السائد جنوب خط عرض 50 درجة (جدول 9) كما يلاحظ تداخل المحيطات مع القارات. كما أن المسطحات المائية تتخذ شكل المثلثات كما هو الحال بالنسبة للمحيط الأطلسي.

والمحيطات هي : تلك المساحات المائية الواسعة التي تتصل ببعضها عن طريق فتحات واسعة، أما البحار فهي : مساحات مائية أصغر كثيرا من المحيطات في اتساعها حتى ان بعضها ضحل، وتكاد تخلو البحار من التيارات الرئيسية، والمياه فيها أكثر هدوءاً من المحيطات (جدول 9).

جدول رقم (9) توزع اليابس والماء في العروض المختلفة

درجة العرض	نصف الكرة الشمالي		نصف الكرة الجنوبي	
	نسبة الماء	نسبة اليابس	نسبة الماء	نسبة اليابس
90–85	100	–	–	100
85–80	80.2	12.8	–	100
80–75	77.1	22.9	10.7	89.3
75–70	65.5	34.5	38.6	61.4
70–65	28.7	71.3	79.5	20.5
65–60	31.2	69.8	99.7	0.3
60–55	45.0	55.0	99.9	0.1
55–50	40.7	59.4	98.5	1.5
50–45	43.8	56.2	97.5	2.5
45–40	51.2	48.8	96.4	3.6
40–35	56.8	43.2	93.4	6.6
35–30	57.7	42.3	84.2	15.8
30–25	59.6	40.4	78.4	21.6
25–20	56.3	34.8	75.4	14.6
20–15	70.8	29.3	76.4	21.6
15–10	76.5	23.5	79.6	25.4
5–10	75.7	24.3	76.9	23.1
5–صفر	78.6	21.4	75.9	24.1

المصدر: الصحاف، مهدي وآخرون، "علم الهيدرولوجي"، بغداد، 1983.

جدول (10)، مساحة البحار والمحيطات وأقصى عمق لها

البحر أو المحيط	المساحة /كم^2	العمق/م	البحر أو المحيط	المساحة /كم^2	العمق/م
المحيط الهادي	165384	11524	بحر الصين الشرقي	1248	2999
المحيط الأطلسي	82217	9560	البحر الأصفر	1243	91
المحيط الهندي	73481	9000	خليج هدسون	1233	259
المحيط المتجمد الشمالي	14056	5450	بحر اليابان	1008	3743
البحر المتوسط	2505	5846	بحر الشمال	573	661
بحر الصين الجنوبي	2318	5514	البحر الأحمر	438	3346
بحر بيرنج	2269	5121	البحر الأسود	461	2245
البحر الكاريبي	1943	7100	بحر البلطيق	422	460
بحر اوختسك	1528	3475	خليج المكسيك	1544	4377

المصدر: الصحاف، مهدي وآخرون، مرجع سابق، 1983.

نشأة البحار والمحيطات :

تعد نظرية زحزحة القارات continental Drift لفيجنر Wegner في بداية القرن العشرين. أهم نظرية تعالج تشكل البحار والمحيطات، حيث افترض ان الأرض كانت تتألف من كتلة تسمى بنجايا مجزأة الى قسمين : الأول ويدعى بكتلة لوراسيا Laurasia والثاني ويدعى بكتلة جنداوانا Gondwana ويقع بينهما بحر يدعى بحر تيثيس Tethys، وكان اليابس بهذا العصر (الكربوني)

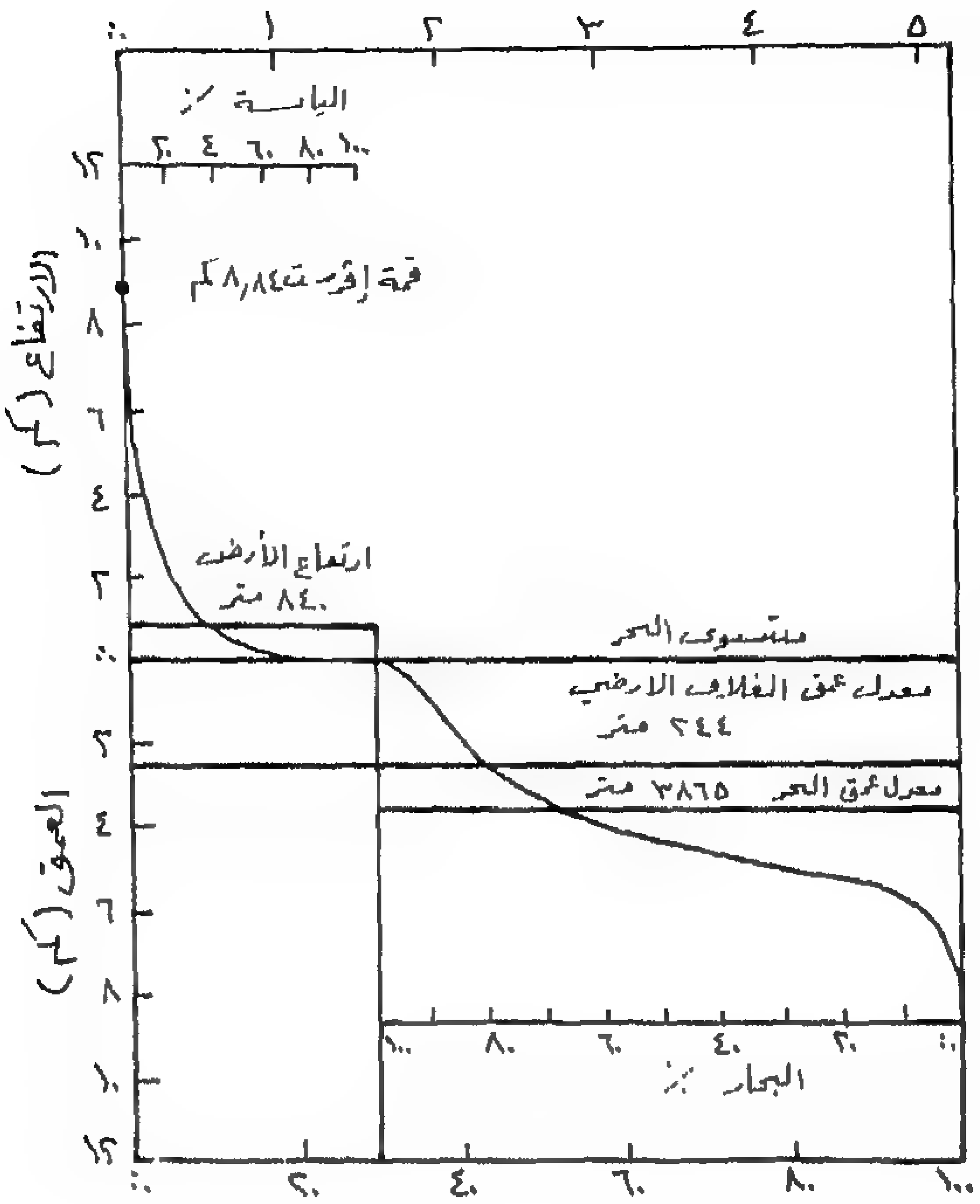
يتركز حول القطب الجنوبي، وبدأت كتلة بنجايا تتفسخ بهذا العصر وتتباعد بفعل قوة الطرد المركزي، وتحافظ على نوع من التقارب بفعل جاذبية كل من الشمس والقمر.

ولم تشغل الفراغات البينية بالماء الا بعد فترة من الوقت، حيث كانت الأرض مغلفة بطبقة كثيفة من السحب استمرت فترة طويلة، وكانت المياه المتكثفة والمتساقطة على الأرض، لا تلبث وان تتبخر مرة أخرى بفعل ارتفاع حرارة الأرض، واستمر التساقط والتبخر على حاله حتى بردت الأرض، وأصبح من الممكن تجمع قطرات الماء لتشكل فيما بعد البحار والمحيطات.

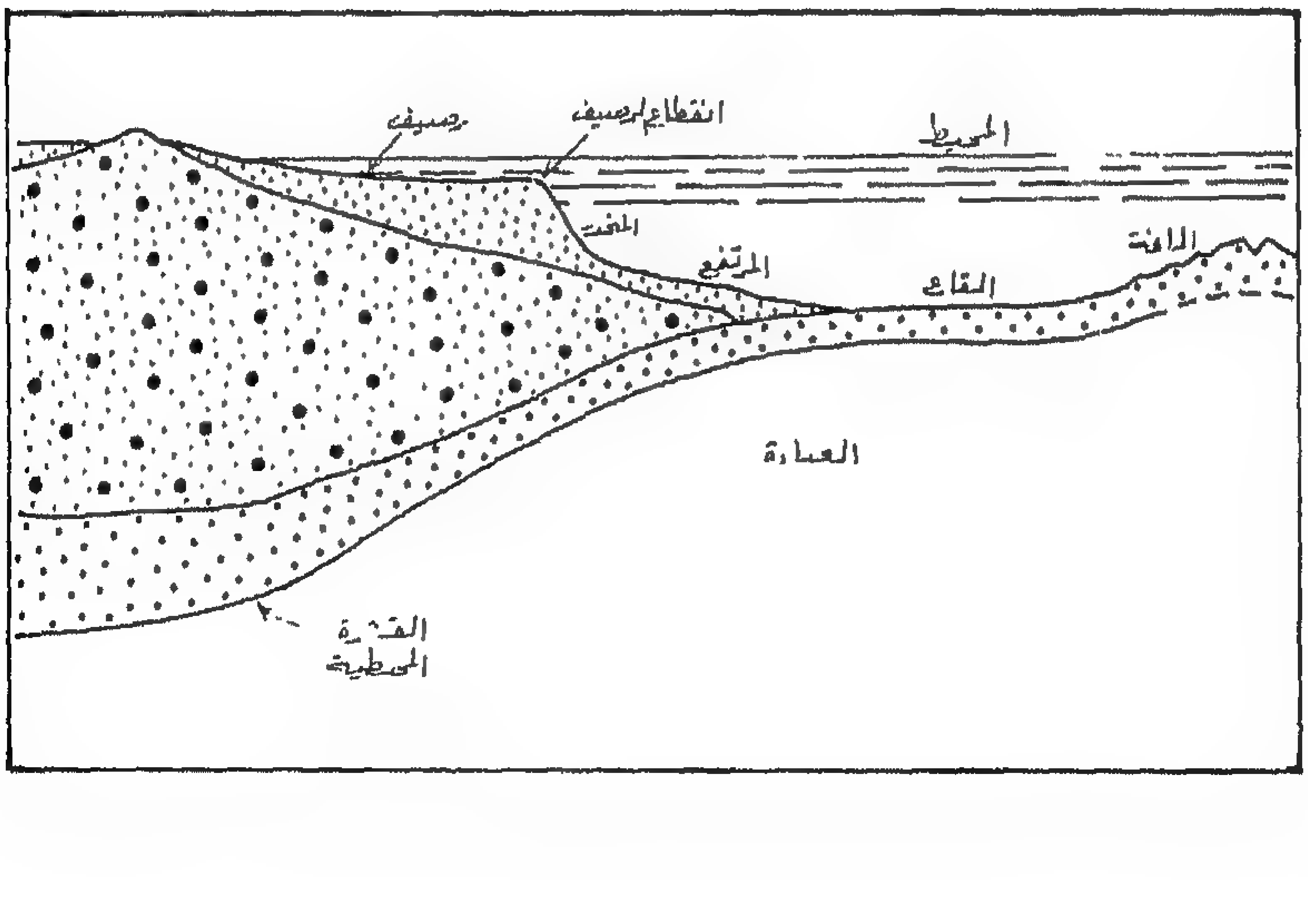
ولم تكن نظرية فيجنر كافية لتفسير نشأة وتطور البحار والمحيطات الى أن ظهرت نظرية **Floor Spreeding** انتشار القاع ونظرية تكتونية الصفائح **Plate Tectonic** ، وقد تم تبني هاتين النظريتين بناء على اختلاف الحقل المغناطيسي للأرض وتغير أقطابها المغناطيسية عبر العصور الجيولوجية. ويعود الفضل في هذا الكشف العلمي الهام الى العالم **Golmar Challenger** عام **1968** عندما بدأ مشروعا ضخما لدراسة قاع المحيطات مبني على أساس اخذ عينات من قيعان البحار والمحيطات بواسطة الحفر **drillig**.

جغرافية البحار والمحيطات :

يظهر الشكل (50) أن 71٪ من سطح الأرض يقع تحت مياه البحار والمحيطات. وأن متوسط ارتفاع سطح اليابسة نحو 840 متر وان متوسط أعماق المحيطات هو 3865 متر. وقد مكنت التقنيات الحديثة استكشاف معظم جغرافية البحار والمحيطات التي كان يعتقد بأنها مستوية.



شكل (50) نسبة اليابسة والبحار والمحيطات من مساحة الكرة الأرضية



شكل (51) الظواهر الطبوغرافية في الهامش القاري للبحار والمحيطات

الهامش القاري Continental margin

ان معرفة الانسان بأعماق البحار والمحيطات أكثر دقة بمناطق الهامش القاري Continental margin من معرفته بمناطق الأعماق، ويعد الهامش القاري امتداد طبيعي للقارات والمغمور بمياه البحار والمحيطات، وقد أمكن تمييز الظواهر الطبغرافية التالية من هذا الهامش القاري (شكل 51).

الرصيف القاري : Continental Shelf

يعتبر الرصيف القاري جيولوجيا جزء من القارة، وقد تعرض لانحسار المياه عنه عدة مرات عبر العصور الجيولوجية، لذلك يمكن تعريف الرصيف القاري بأنه النطاق الممتد من الساحل shore تحت سطح البحار والمحيطات حتى النقطة التي يبدأ عندها الانحدار بالتغير المفاجئ، والخط الواصل بين هذه النقاط يدعى Continental Break ، ويلي خط الانقطاع هذا نطاق المنحدر القاري.

ويتراوح عرض الرصيف القاري ما بين بضعة أمتار الى 1300 كم كما هو الحال بسواحل أمريكا الشمالية باتجاه المحيط المتجمد الشمالي. أما المعدل العام لعرض الرصيف القاري فيصل الى 70كم، ومعدل عمق المياه عند خط الانقطاع يصل الى 135متر، ويبلغ معدل انحدار الرصيف القاري 0.1 أو 1.9م/كم.

المنحدر القاري : Continental Slope

يلي خط الانقطاع Continental Break نطاق المنحدر القاري الذي ينحدر باتجاه الأعماق بمعدل 4.3 وبعمق يتراوح ما بين 3–4كم. ويعد المنحدر

القاري للمحيط الهادئ الأكثر انحدارا حيث تصل درجة انحداره الى خمس درجات بينما يصل معدل الانحدار للمنحدر القاري بالمحيط الأطلسي الى ثلاث درجات فقط.

الخوانق المحيطة Submarine Canyon

يتقطع الرصيف القاري بعدد من الخوانق Canyons ، وقد يكون بعضها امتدادا للخوانق النهرية على اليابسة ولهذه الخوانق العملاقة خوانق فرعية حادة الجوانب، ويرجع سبب نشأة هذه الخوانق الى ما يدعى بالتيارات العكرة Turbidity Currents التي تجلب معها نتاج تعرية القارات باتجاه القيعان، فتعمل على حت الرصيف القاري واحداث تلك الخوانق، ولذلك نجدها أحيانا مناظرة لنظم التصريف النهري على اليابسة.

المرتقع القاري : Continental Rise

عند اقدام المنحدر القاري تتجمع نواتج غسل المنحدرات القارية على شكل مخاريط ركامية تشبه المراوح الفيضية على اليابسة التي تشبه الأسافين Wedges، وتدعى هذه الأسافين مجتمعة كظاهرة طبغرافية تحت سطح الماء بالمرتقع القاري Continental Rise، ويتميز هذا النطاق باعتدال انحداره العام، وأكثر تواجد للمرتفعات القارية في المناطق القديمة ذات السواحل المستقرة. فسواحل المحيط الهادئ نظرا لعدم استقرارها لا تحتوي على مثل هذه الظاهرة، حيث تبتلع المجروفات القادمة من الرصيف القاري ولا يعلم أين تذهب[1].

---

(1) لمزيد من التفاصيل عن خصائص وأساليب نشأة وتطور الخوانق المحيطة يمكن الرجوع الى : يوسف فايد، جغرافية البحار والمحيطات، دار الثقافة والنشر، القاهرة، 1993، ص194-205.

قيعان البحار والمحيطات Deep Ocean Basin

من الصعب تحديد قاع المحيط. الا أنه يبدأ عند انتهاء المرتفع القاري The Rise. وتشغل قيعان المحيطات نحو 30٪ من مساحة العالم و 42٪ من مساحة المحيطات و 53٪ من مياه تلك المحيطات. (جدول 11)

جدول رقم (11) بعض الخصائص المورفومترية للأقاليم الطبغرافية للمحيطات

الاقليم	النسبة من مساحة العالم	النسبة من مساحة المحيطات	النسبة من مياه المحيطات	معدل الانحدار /درجة	معدل العرض / كم
الرصيف	6	9	0.2	0.1	75
المنحدر	4	6	3	4.3	50
المرتفع	4	5	5	0.2	40
القاع	30	42	53	–	–
المرتفعات المحيطية	23	33	33	0.2	1700
الأخاديد	1	2	4	3.0	100
البراكين	2	3	2	–	–

المصدر : K.S. Stow, 1979, p.29

السهول السطحية : Abyssal plains

ينتشر على السهول المحيطة Abyssal plains مجموعة من تلال القاع Abyssal hills أو Seaknols وهي أكثر ظاهرات سطح الأرض وفرة، وترتفع عن قاع المحيط بنحو 900 متر، فهي ليست تلال بالمعنى المتعارف عليه وليست

جبالا بمعناهـا الحقيقـي، أمـا المنـاطق المسـتوية بقـاع المحيطـات فتدعـى السـهول المحيطية، ويعود استوائها الى الرواسب التي تجلبها التيارات المحيطة العكرة.

الأخاديد المحيطية: Trenches

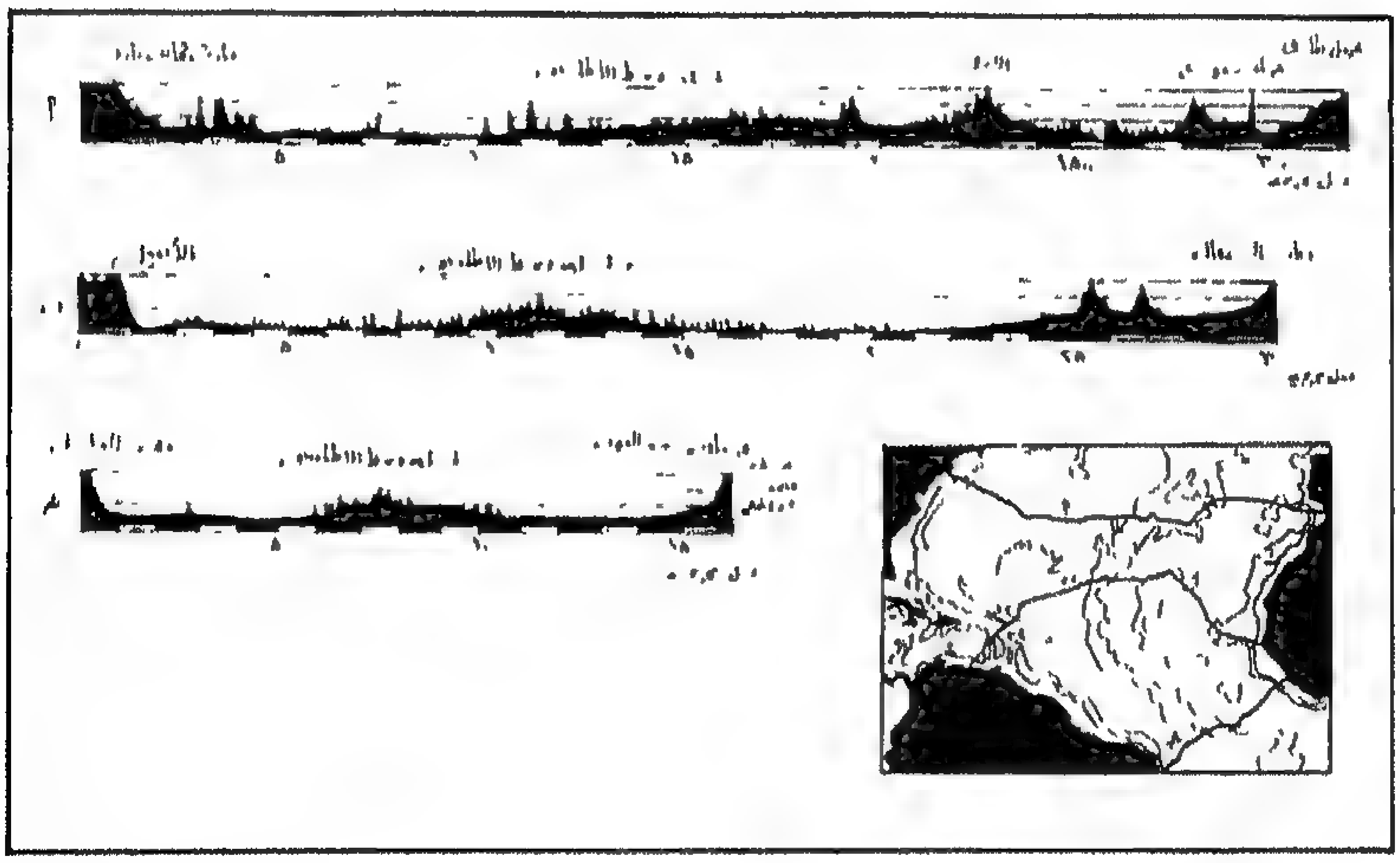
تقع المرتفعات القارية عادة عند قواعد المنحدرات القاريـة ويقطـع هـذه المنحدرات أحيانا أخاديد عميقة ضيقة ذات جوانـب شديـدة الانحـدار، وتوجـد أخفض بقاع الأرض على الاطلاق ضمن هذه الأخـاديد، ويعـد أخـدود ماريانـا Mariana أعمقها (11022مـتر). وقـد يكـون للحركـات البنائيـة / التكتونيـة لسطح الأرض دورا كبيرا في نشأتها. فهي ترتبط ارتباطا وثيقا بنطاقـات ضعـف القشرة الأرضية.

المرتفعات المحيطية: Mid Ocean Ridges

إن اكتشـاف هـذه المرتفعـات قـد سـاعد في تطويـر نظريـة الصفـائح التكتونية. فإليها يعود الفضل في اتسـاع شقـة المحيطـات وتولـد بحـار ومحيطـات جديدة.يصل مجموع أطوال هذه السلاسل الجبلية المحيطية الى 65 ألف كيلومتر، أي ما يعادل ½ 1 محيط الكرة الأرضية، ويبلغ متوسط عرضها ما يزيد عن ألف كم، وتبدو أكثر عرضا في المناطق لأكثر نشاطا، وترتفع عن قاع المحيط ما بـين 1–2 كم وقد يزيد ارتفاعها عن ذلك، وتتجاوز سطح الماء (شكل رقم 52).

وتتميز منطقة قمة السلسلة بوعورتها الشديدة، التي تسـير علـى طـول السلسلة موازية لواد بنيوي Rift Valleg يقع بمنتصف قمـة السلسـلة، يـتراوح عرضه ما بين 12–18كم وبعمق يتراوح مـا بـين 0.5 – 1.5كـم. وتتمـيز هـذه المنطقة بنشاطها البركـاني، وبـانحدار جوانبـها الشديـد، وتقـل وعـورة جوانـب

منحدرات السلاسل المحيطية كلما ابتعدنا عن قمتها. ويتفرع من الصدع الرئيسي في الوسط صدوع فرعية متعامدة معه تؤلف سوية نطاقا يدعى احيانا Fracture Zones.



شكل (52) قاع المحيط الأطلسي

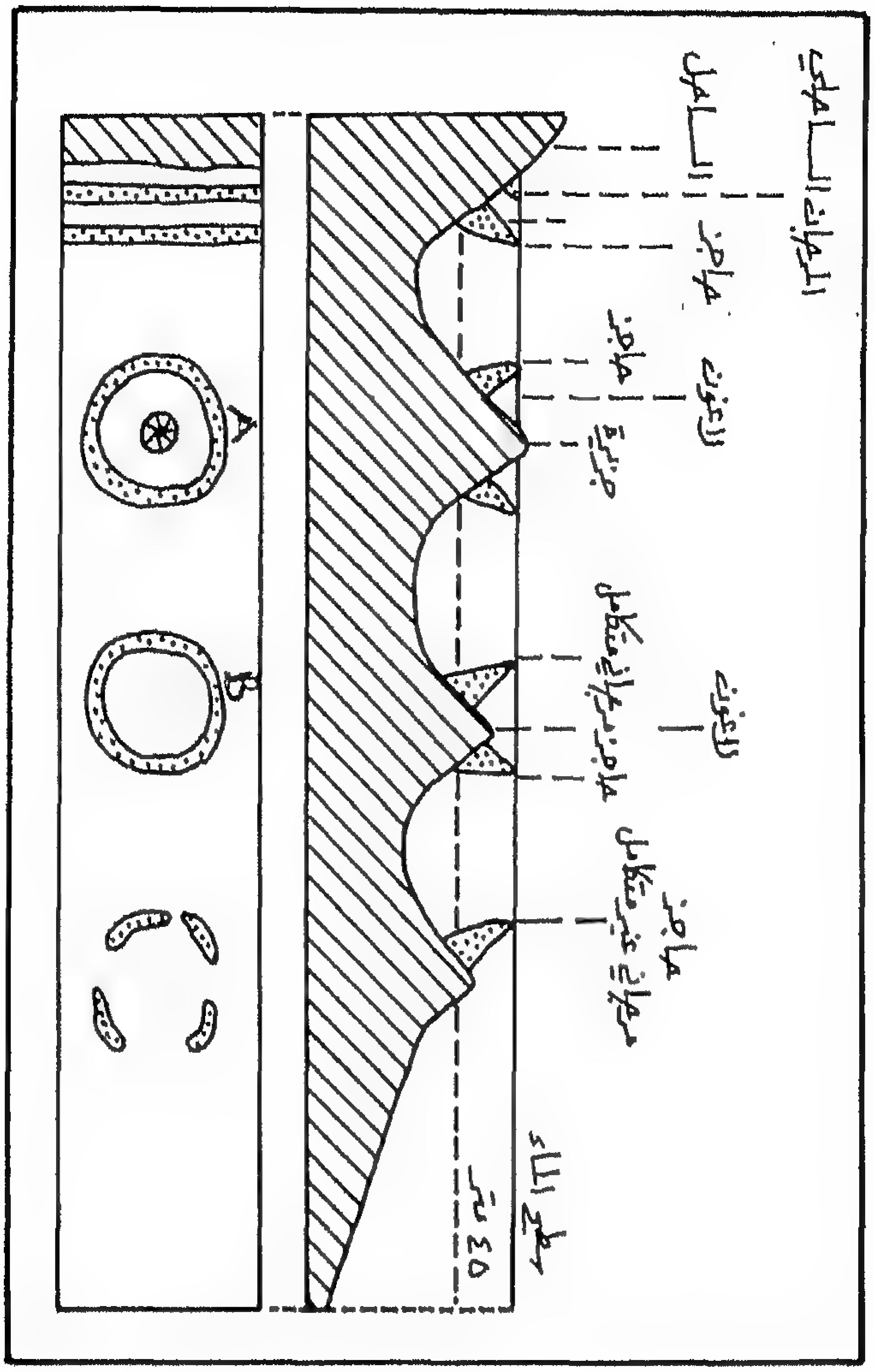
الظواهر البركانية Volcanic Features

تظهر معظم النشاطات البركانية ضمن نطاقات تصادم الصفائح subduction zones، وغالبية ما تبقى يقع على طول السلاسل المحيطية. ولكن يمكن القول بأن المحيط الهادي يحتوي على عدد هائل من المظاهر البركانية وبخاصة الجزر، التي يصل عددها الى 20.000 ظاهرة بركانية.

وتحاط الجزر البركانية المحيطية بصخور بازلتية تصلبت بعد أن انتشرت على جوانب البركان وشكلت منحدرات لطيفة فضلا عن الانسيابات البازلتية على قاع المحيط. تمتد قمم البراكين قرابة الكيلومتر فوق السهل المحيطي، وتتميز باستواء قمتها ولذلك تدعى الجبال المائدية table mounts أو الجيوت guyots. وتقع قمم هذه الجيوتات أسفل سطح المحيط الحالي بنحو 1800–2000 متر، ولذلك يمكننا القوم بأن استواء قمة هذه التلال البركانية قد تعود الى نشاط الأمواج المحيطية.

الجزر المرجانية : Atolls

كما هو واضح في الشكل (53) فان المناطق المدارية او ما يدعى Balmy climates فان المرجان ينمو بسرعة، حيث يبدأ المرجان بالنمو حول المخروط البركاني ، ويستمر نمو المرجان وبنفس الوقت يهبط مستوى المخروط البركاني حتى يختفي تحت الماء، ويستمر أيضا نمو المرجان حتى يشكل حلقة متكاملة تحجز بداخلها بحيرة صغيرة لتصل مع البحر بممر ضيق، ويصل عمر الجزر المرجانية الحالية قرابة 6000 سنة وهو التاريخ الذي يمثل استقرار سطح البحر الحالي.



شكل (53) أنواع الحواجز المرجانية

الخصائص الطبيعية لمياه البحار والمحيطات

الملوحة : Salanity

نظرا لقدرة الماء على الاذابة فانه ليس غريبا ان تجد بمياه البحار والمحيطات معظم العناصر الكيميائية المعروفة والتي يصل عددها الآن 92 عنصرا. فقد تم التعرف على 80 عنصر منها في مياه البحار والمحيطات، ويمكن العثور على أكثر من ذلك مستقبلا . وتعد مياه البحار والمحيطات محلولا مالحا جاءت معظم مكوناته من القشرة الأرضية او من عباءة الأرض Earth's mantle بفعل النشاطات البركانية.

ورغم التنوع الهائل بمكونات مياه البحار والمحيطات الا ان ستا منها تشكل نحو 99٪ من مجمل أملاح البحار والمحيطات وهذه المركبات تعود الى العناصر التالية : الكلور 55٪ من وزن الأملاح الموجودة في البحار والمحيطات عندما تكون نسبة الملوحة 34.07 ثم الصوديوم 30.61 ٪ فالكبريت 7.68٪، فالمغنسيوم 3.69٪، فالكالسيوم 1.16٪، وأخيرا البوتاسيوم 1.1٪.

وتعود أملاح البحار والمحيطات الى النشأة الأولية لتلك المحيطات بالاضافة الى ما تنقله مياه الأنهار والجداول عندما تذيب مياه الأمطار أملاح الصخور، وعندما تغسل تلك المياه أملاح تربة اليابسة. وتزداد الملوحة داخل المسطحات المائية وتقل قرب السواحل وعند مصبات الأنهار. ويصل المعدل العام لملوحة البحار والمحيطات قرابة 35 بالألف. وتكفي الأملاح الموجودة في البحار والمحيطات لتغطية سطح الأرض بطبقة من الأملاح يصل سمكها 45 مترا.

وتتأثر نسبة الملوحة بموقع البحار والمحيطات بالنسبة لخط الاستواء، فهي قليلة قرب ذلك الخط بسبب ارتفاع كمية الأمطـار، وتزيـد في المنـاطق المداريـة حيث درجة الحرارة مرتفعة ونسبة التبخر عالية أيضا، كمـا تقـل نسـبة الملوحـة قرب المناطق القطبية بسبب ذوبان الجليد. كما تتفاوت نسبة الملوحة من فصـل الى آخر نتيجة تباين درجة الحرارة وبكميات الأمطار. فضلا من ذلك فان مدى انفتاح البحار على المحيطات يلعب دورا كبيرا في تباين نسبة الملوحة.

وتتفاوت نسبة الملوحة في مياه البحار والمحيطـات حسـب العمـق، فـهي متقلبة في الأعلى، وفي الأسفل أكثر استقرارا وتجانسا.

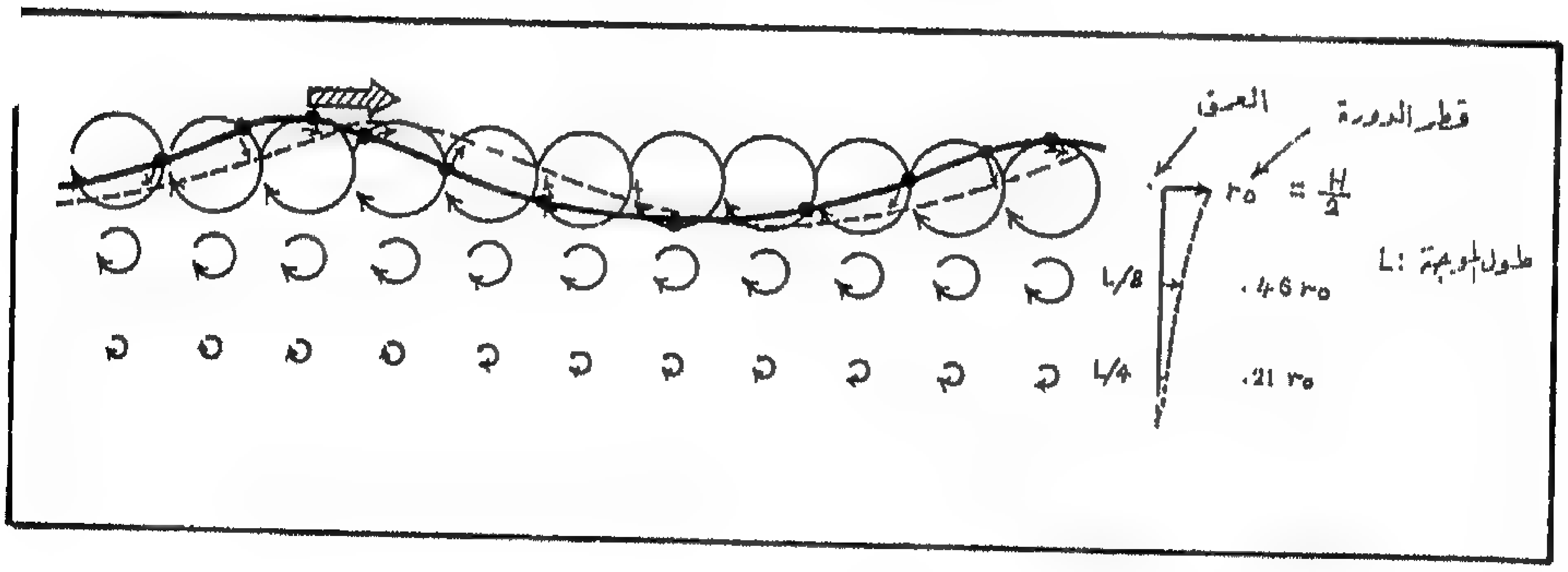
الأمواج : Waves

يبين الشكل رقم (54) أجزاء الموجة، حيـث يمثـل ارتفـاع الموجـة المسـافة العموديـة مـا بـين قـاع الموجـة Trough وذروتـها crest، ويمثـل مـدى الـذروة Amplitude المسافة العمودية ما بـين مستوى مـاء البحـر وقمـة الموجـة، وطـول الموجة يمثل المسافة ما بين قمتين او قاعين متتالين، وسرعة الموجة تقاس بالمسافة التي تقطعها قمة موجة أو قاعها في وحدة الزمن. وحدة الموجة هي نسبة ارتفاع الموجة الى طولها steepness =H/L وفي المياه العميقة يندر أن تزيد النسبة عن 1/7.

وتنشأ الأمواج عندما تضرب الرياح سطح البحر، فيتحول سطحه الى أمواج دائرية صغيرة يقل طولها عـن 1.74سم، وفي هـذه الحالـة تسـمى أمـواج capillary waves (ripples) . وتتميـز قمـم هـذه الأمـواج بكونـها مكــورة rounded وقاعها على شكل حرف V، واذا استمرت الرياح في الهبوب بنفـس الاتجاه فان سطح البحر يصبح خشنا ممـا يسـمح للريـاح بضـرب المياه بكفـاءة

أعلى، ثم تتحول الأمواج مع استمرار تدفق الرياح الى موجات تسمى gravity waves حيث يزيد طول الموجة عن 1.74سم. ويصل طول هذه الأمواج 15–35 مرة قدر ارتفاعها. ومع استمرار تدفق الرياح وازدياد قوتها تزداد نسبة ارتفاع الأمواج أكثر من نسبة زيادة طولها. فتضيق قمة الموجة ويصبح قاعها أكثر تدويرا. وتتأثر خصائص الأمواج بسرعة الرياح وديمومتها وعمق المياه واتساعها.

ورغم أن تكون الأمواج ناجم عن حركة دورانية لذرات مياه البحر، الا أن تحرك الأمواج للأمام يعود الى دفع الرياح لجوانب الموجة المواجهة له، فضلا عن أن تحرك ذرات المياه في القمة الى الأمام تكون أسرع من حركة تلك الذرات الى الخلف في القاع (شكل 54) .



شكل (54) الأمواج، ارتفاعها، طولها وقممها

أنواع الأمواج :

1. الأمواج المحيطية Swell

عندما تخرج الأمواج من منطقة نفوذ الرياح التي تولدت بها، فان تلك الأمواج تستقل وتصبح سرعتها أكبر من سرعة تلك الرياح التي ولدتها. وفي هذه الحالة تقل حدة الأمواج Steepness وتزداد مدتها ويزداد طولها.

2. أمواج التسوماني : Tsunami

وهي الأكثر تدميرا، وترتبط بحدوث الزلازل والبراكين وقد تنتج من التفجيرات النووية، وتتميز بقوتها وارتفاعها وسرعتها العالية، وتستطيع أن تقطع آلاف الكيلومترات قبل أن تنكسر وتتلاشى، فقد يصل طولها الكيلومتر، وسرعتها 700 كم /الساعة عبر مياه المحيط، وعند وصولها الى مياه الشواطئ الضحلة فانها ترتفع بصورة مفاجئة، بحيث يصل ارتفاعها احيانا 50 مترا. وأكثر المحيطات عرضة لمثل هذه الموجات هو المحيط الهاديء.

التغيرات التي قد تطرأ على الموجات في المياه الشاطئية الضحلة :

1. ارتداد الموجة wave - reflection
2. انحراف الموجة wave refraction
3. تشعع الموجة wave defraction
4. تكسر الموجة wave - breaking
5. تداخل الأمواج wave interference

المد والجزر : Tides

المد والجزر عبارة عن أمواج طويلة، تتمتع بطاقة عالية جدا، يمكن التنبؤ بحدوثها، ويمكن للقاطنين على السواحل مشاهدتها بوضوح من خلال ارتفاع وانخفاض مستوى سطح البحر بالنسبة للوضع العادي. وينتج المد والجزر بصورة منتظمة بفعل قوة الجاذبية لكل من القمر والشمس. اذ من المعروف ان قوة تجاذب جسمين نحو بعضهما البعض يتأثر بكتلتيهما والمسافة الفاصلة بينهما.

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية :

$$\text{قوة الجاذبية} = \text{ثابت الجاذبية} \; \frac{(\text{كتلة}1)\,(\text{كتلة}2)}{(\text{المسافة})^2}$$

وبالنسبة للأجسام الكروية فان المسافة تقاس بين مركزي الكتلتين. وفي حقيقة الأمر فان قوى نشوء المد tide –generating forces تتناسب عكسيا مع مكعب المسافة ما بين مركز الأرض وبين مركز الكتلة التي سببت حدوث المد. لذلك فان :

$$\text{قوة نشوء المد} \; \alpha \; \frac{(\text{كتلة}1)\,(\text{كتلة}2)}{(\text{المسافة})^3}$$

لهذا فان قوة تجاذب الأرض مع الشمس تفوق تجاذب الأرض مع القمر بـ 177 مرة. ومع ذلك فان قوة نشوء المد الناجمة عن الشمس لا تساوي سوى 46٪ من تلك الناجمة عن القمر، رغم أن كتلة الشمس تفوق كتلة القمر بـ 27

مليون مرة. فلو كانت الكتلة هي العامل المؤثر الوحيد لكان المد الناجم عن الشمس يعادل 27 مليون مرة المد الناجم عن القمر. ولكن بسبب البعد السحيق للشمس عن الأرض مقارنة ببعد القمر عنها فان القمر يكون تأثيره أكبر. كما هو واضح في المعادلة التالية :

$$\text{Tide generating force} \propto \frac{\text{mass}}{(\text{Distance})^3} \propto \frac{\text{sun - 27 million times than moon}}{(\text{sun - 390 times fartharaway})^3}$$

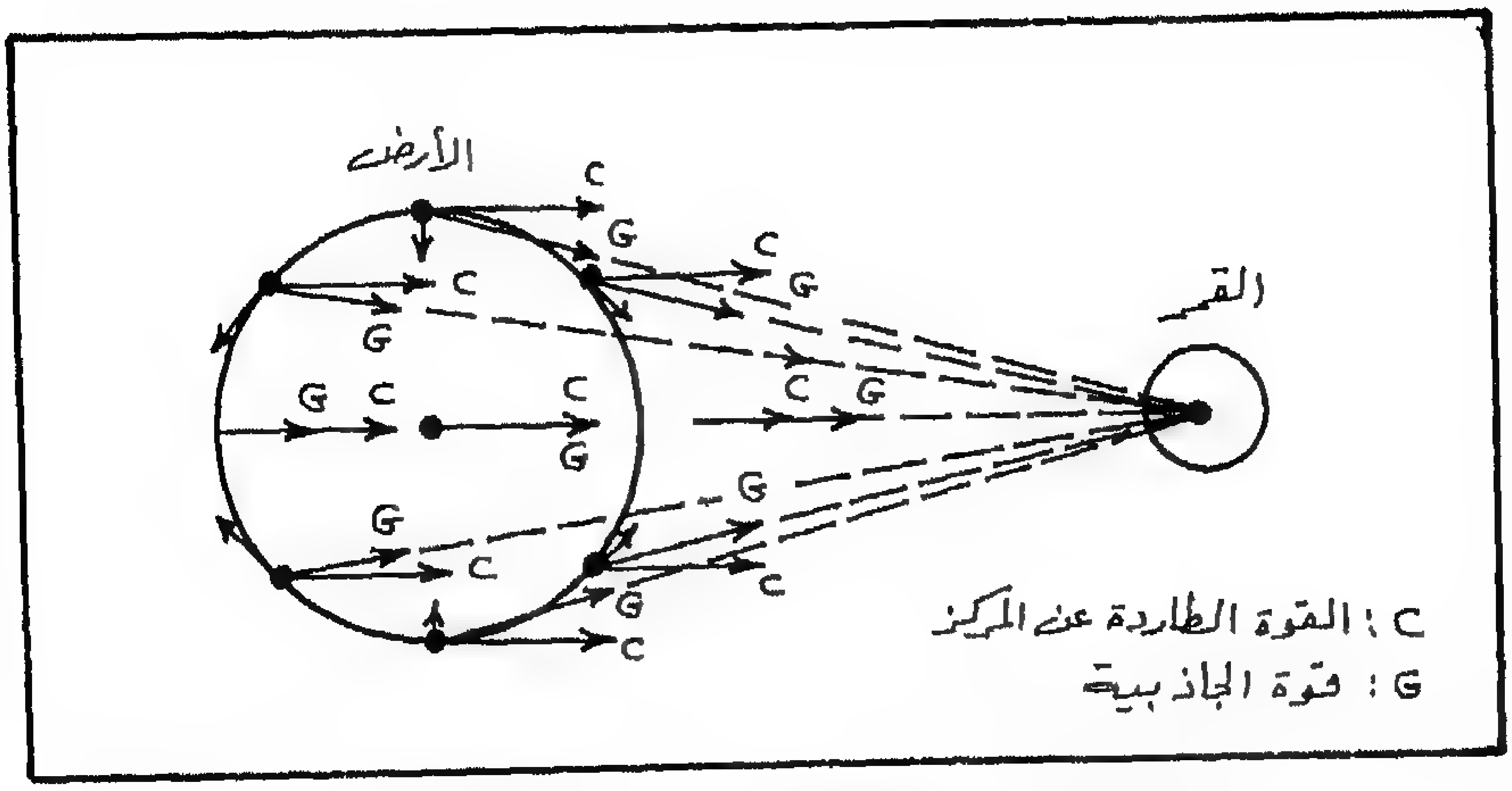
وبما أن : $59.000.000 = (390)^3$

لذلك فان قوة نشوء المد الناجم عن الشمس بالنسبة لتلك القوة الناجمة عن القمر =

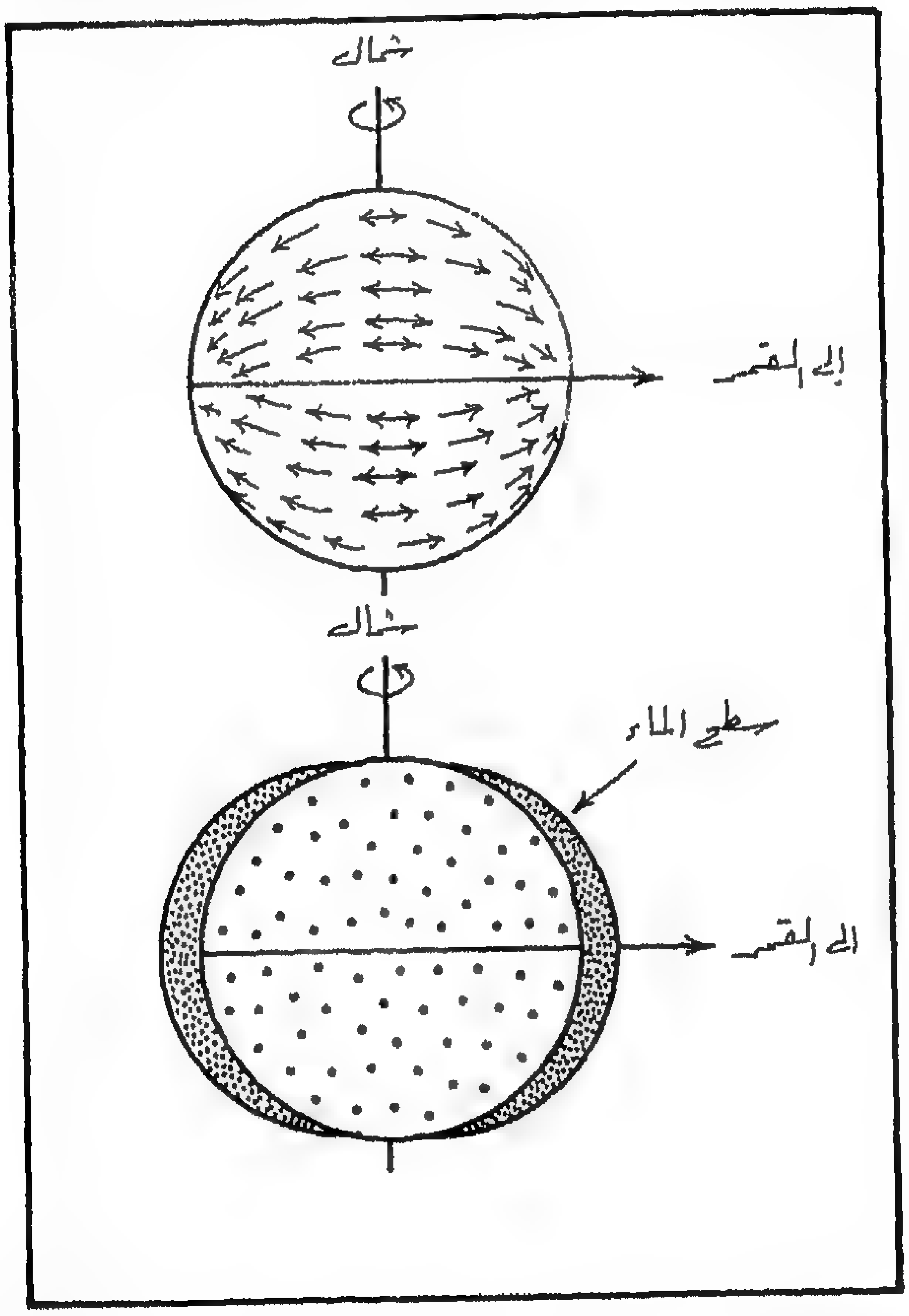
$$\frac{27 \text{ million}}{59 \text{ million}} = 0.46 \text{ or } 46\%$$

فلو افترضنا بأن الأرض مجزأة الى مليون جزء، فان هذه الأجزاء تتباين في بعدها واتجاهها عن مركز القمر (شكل 55) وهذا بسبب اختلاف محور التجاذب بين تلك الأجزاء ومركز القمر، ونتيجة لهذه الاختلافات فان قوة نشوء المد الناجمة عن ذلك تدفع مياه المحيطات الى نقطة تدعى **Zenith** وهي النقطة القريبة من القمر والى نقطة **nadir** المقابلة لها والأبعد عن مركز القمر.

يحدث المد والجزر مرتين في اليوم، بحيث تفصل 12 ساعة بين المدين المتتاليين. ولكن هذا الأمر فرضي بحت، اذ يفترض بأن الأرض كاملة التكور وان أعماق البحار والمحيطات واحدة. لذلك نجد بعض الاختلافات حسب موقع الساحل بالنسبة لخطوط العرض (شكل 56).



شكل (55) العلاقة بين المد والجزر ومركز القمر

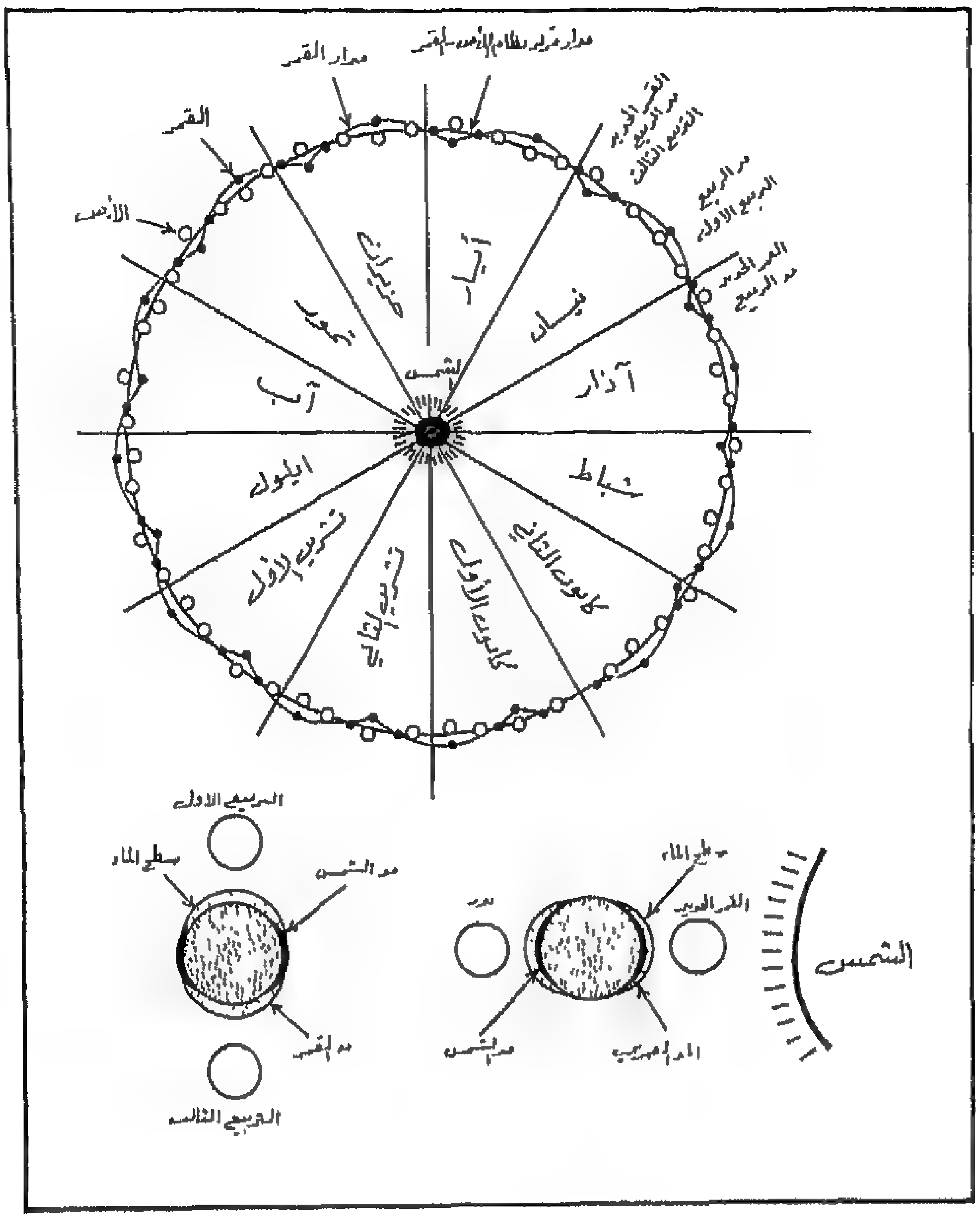


شكل (56) اختلاف المد حسب موقع الساحل بالنسبة لخطوط العرض

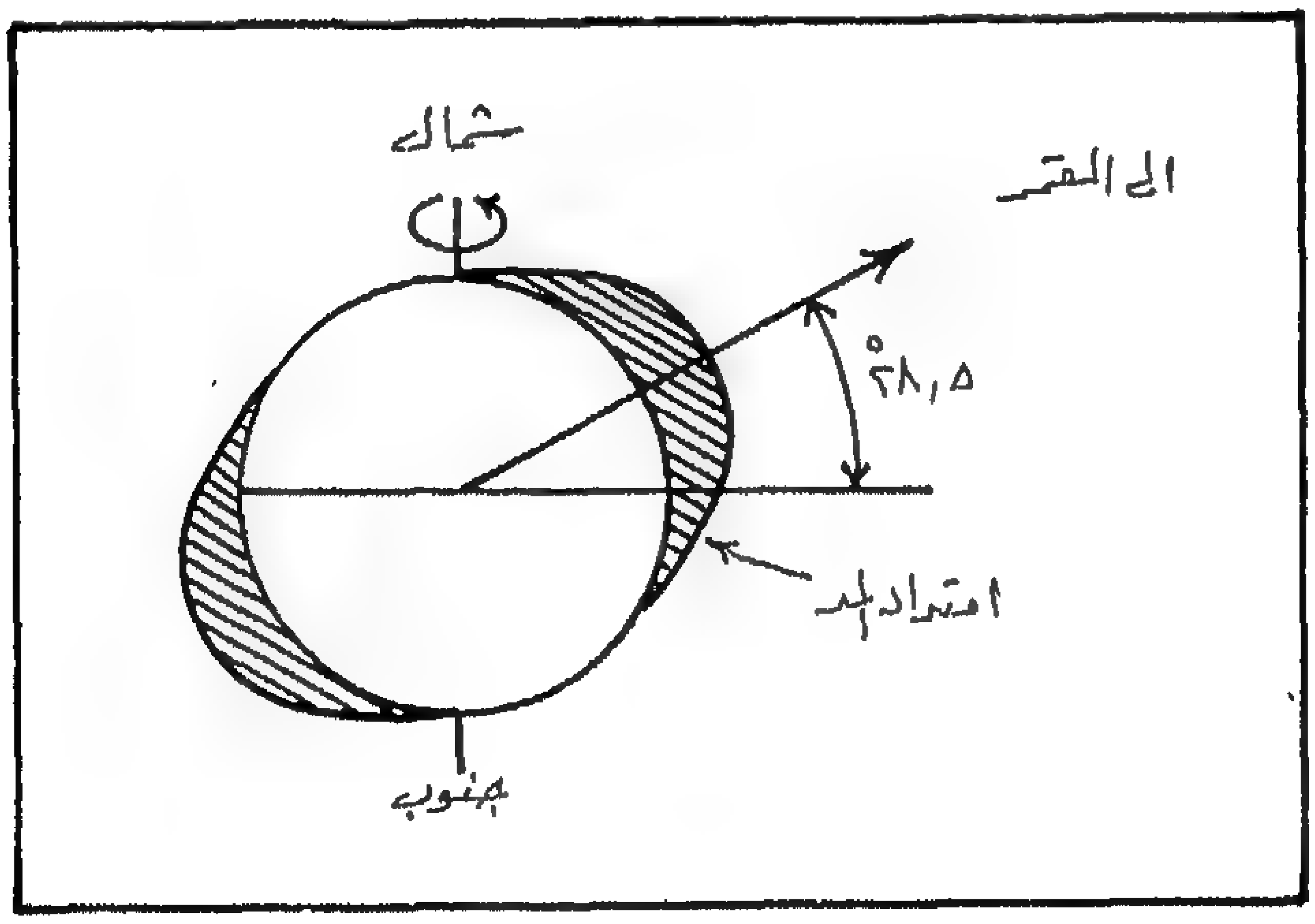
كما أن المد والجزر يتأثران تـأثرا كبـيرا بحركـة الأرض حـول الشـمـس وحركتها حول نفسها، وارتباط حركة القمر بهما. فعندمـا يقـع القمـر مـا بـين الأرض والشمس يحدث مد القمر، وعندما يقع القمر في الجهة المعاكسة للأرض يحدث مد الشمس وكلا المدين نسميهما المد الربيعي spring tide، وفي الحالـة الأولى يكون القمر محاقاً، وفي الحالة الثانية يكون القمر بدرا أما اذا كـان القمـر يشكل زاوية قائمة مع خط الأرض – الشمس فان القمر يكون في دور التربيع، ويولد ذلك مداً ضعيفاً يسمى Neaptiade(شكل 57).

ونتيجة لميل محور الأرض 23.5° عن مستوى الفلك، وميل محـور القمـر خمس درجات فقط عن المستوى الفلك، فان هذا الاختلاف يخلق تفاوتـاً جديـداً في مقدار المد والجزر. حيث يبلغ المد أقصاه على خط عـرض 28.5° شمـال خـط الاستواء و 28.5° جنوب خط الاستواء (23.5 + 5 = 28.5°) (شكل 58).

ولتفاوت بعد الشمس عن الأرض خلال السـنة، ولتفـاوت بعـد القمـر أيضاً عـن الأرض، أثـر واضـح علـى مستوى المـد والجـزر. فمـن المعـروف ان الشمس تكون في أوج بعدها عن الأرض في شـهر تموز (يوليـو) مـن كـل عـام Aphelion حيث تكون المسافة بينهما 152.2 مليون كم، ويكون بعدهـا بشـهر كـانون أول (ينـاير) نحـو 148.5 كـم وهـي مـا تدعـى بـالحضيض Perihelion ويكـون القمـر في أوج بعـده عـن الأرض Apogee علـى بعـد 375.200 كـم، ويكون بعيداً عنها في منطقة الحضيض perigee نحـو 405.800كـم. ولهـذا فـان المد الربيعي يكون أكبر في فصل الشتـاء بنصـف الكـرة الشمـالي منـه في فصـل الربيع في النصف الشمالي من الكرة الأرضيـة. اي ان المـد يكـون كبـيرا عندمـا يكون القمر عند نقطة الحضيض.



شكل (57) العلاقة بين المد ومنازل القمر



شكل (58) تأثير ميل محور الأرض وميل محور القمر على تفاوت المد والجزر

وبموجب المتغيرات التي ذكرت وفي حالة وجود مياه البحار والمحيطات بنفس الخصائص والأعماق فان :

1. يحدث مدين وجزرين في اليوم الواحد.

2. سواء أكان الأمر مداً أو جزرا فانهما غير متساويين في المقدار بسبب تغير ميلان محاور كل من القمر والشمس.

3. يجب أن تتوقع اختلافات في قيم المد والجزر حسب الأشهر بسبب اختلافات المسافات بين الشمس والأرض وبين القمر والأرض.

وبناء عليه يمكننا أن نتنبأ بأكبر مد عندما تكون الشمس في مرحلة الأوج والقمر بنقطة الحضيض أي أن الشمس والقمر والأرض تقع مراكزهما على خط مستقيم onjuondion، وعندما يكون ميل الشمس والقمر declination صفراً. وهذا الأمر يحدث كل 1600 سنة مرة واحدة. ومن المتوقع حدوث هذا الأمر مستقبلا عام 3300 ميلادي.

أنواع المد :

1. المد والجزر اليومي Diurnal tide ويحدث فيه مد واحد وجزر واحد كل 24 ساعة و 50 دقيقة. وأوضحه يوجد بخليج المكسيك وسواحل جنوب شرق آسيا.

2. المد والجزر شبه اليومي Simidiurnal tide ويحدث به مدان وجزران خلال اليوم الواحد. أي أن مدة المد tide period 12 ساعة و 25 دقيقة، ويشاهد هذا النوع بوضوح على سواحل الولايات المتحدة.

3. المد والجزر المختلط Mixed tide وهو الأكثر تعقيداً، بحيث لا يظهر المدان والجزران بنفس المقدار وبنفس التتابع ولكن بشكل عام يتكرر المد والجزر المختلط كل 12 ساعة و 25 دقيقة. ويظهر هذا النوع بوضوح على سواحل المحيط الهادئ للولايات المتحدة.

التيارات المدية :

تحدث هذه التيارات نتيجة حدوث المد والجزر. وتتأثر قوتها بالفارق المدي وبسعة المسطحات المائية. وتدعى مثل هذه التيارات عند توجهها الى السواحل بالتيار الدوار مع اتجاه عقارب الساعة rotary current. والتيارات الراجعة reversing current عندما تعود من السواحل. وتصل سرعتها أحيانا في المياه المفتوحة نحو 1كم/ساعة، أما في الخلجان الضيقة فقد تصل سرعتها الى 20 كم/الساعة، وتصل سرعتها وبحالات استثنائية الى 66كم/ساعة.

التيارات البحرية : currents

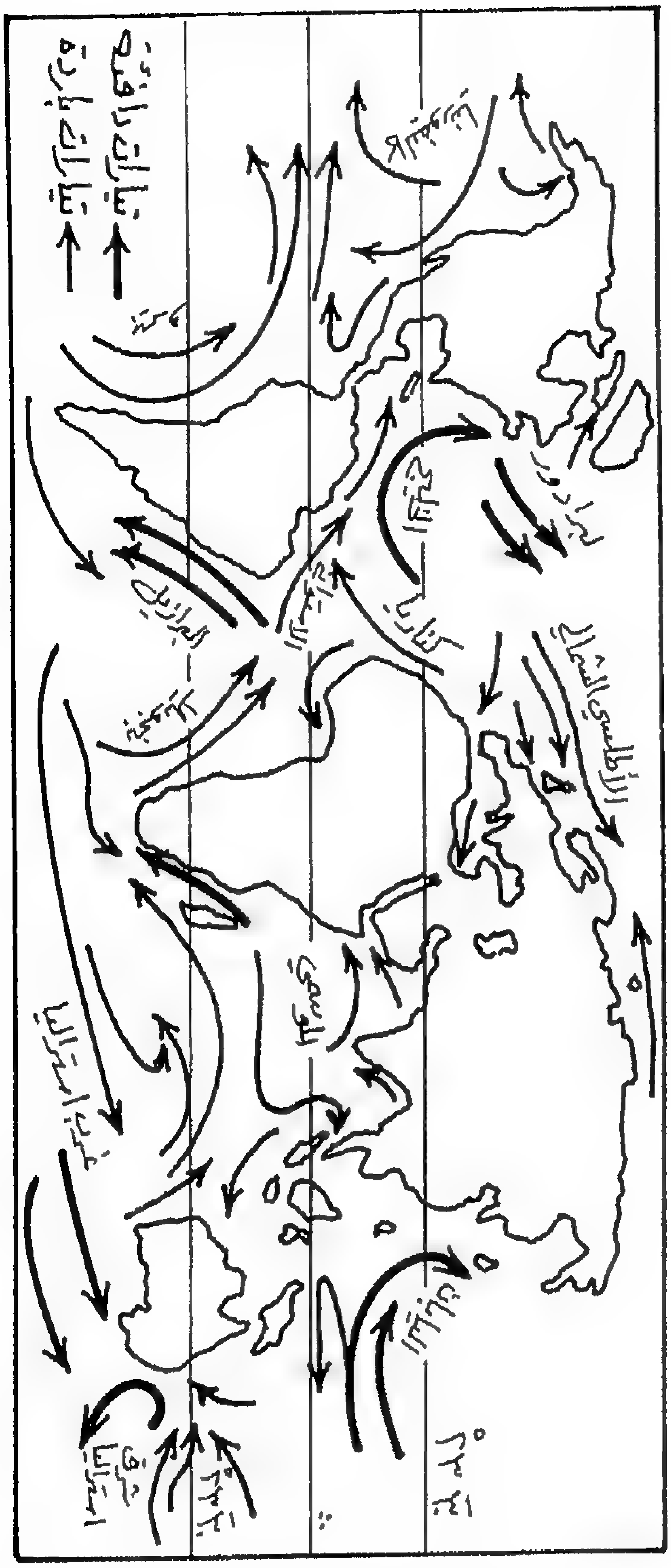
عبارة عن حركة المياه السطحية وشبه السطحية في اتجاهات محددة ثابتة وفق قوى مختلفة مثل الرياح السائدة وتباين كثافة المياه، وقوى الجاذبية، واختلاف سرعة دوران الأرض حول نفسها.

فالرياح التجارية تساعد في تشكل التيارات المحيطية الاستوائية، ولنتيجة للقوة الكارولية فان هذه التيارات المتحركة نحو الغرب تتجه صوب الشمال على يمين اتجاهها في نصف الكرة الشمالي، وتتجه جنوباً الى يسار اتجاهها بنصف الكرة الجنوبي. وتحمل هذه التيارات الاستوائية معها مياه دافئة لذلك تسمى التيارات الدافئة Warm currents. وبعد أن تخرج هذه التيارات من النطاق

الاستوائي تتولى الرياح العكسية دفعها باتجاه الشرق، ثم تبرد هـذه الميـاه فتعـود الى المناطق الاستوائية على شكل تيارات باردة Cold currents (شكل 59).

تتأثر التيارات البحرية بمبدأين الأول مبدأ تأثير القوى الكارولية والثانية مبدأ اسكمان Eckman spral الذي يعالج مدى تفـاوت تـأثر طبقـات الميـاه في المياه العميقة بالقوة الكارولية بحيث تختلف سرعاتها وتختلف اتجاهاتها أيضاً. اذ أن المياه على عمق معين تسير باتجاه معاكس لاتجاه المياه السطحية أو على زاوية 220° من اتجاه الرياح السطحية. ويعتمد العمق الذي تبدأ فيه المياه بالسير باتجـاه عكسي على خط العرض، فمثلاً يصل العمق في سـاحل كلفورنيـا الى 100 مـتر وفي المنطقة الاستوائية قد يحصل الأمر على أعماق مختلفـة بسـبب انعـدام القـوة الكاروليه. وبشكل عام فان حركة التيارات المائية السـطحية تسير باتجـاه يخلـق زاوية مقدارها 90° مع اتجاه الرياح التي سببت هذه التيارات.

وبين الشكل (59) توزع التيارات البحرية على مختلف المحيطات، حيث يتميز كل محيط منها بدورتين منفصلتين أحداهما شمال خط الاسـتواء وثانيتـهما جنوب خط الاستواء. وتكون التيارات المحاذية للسواحل القريبة للقارات بـاردة والتيارات المحاذية للسواحل الشرقية للقارات دافئة. وتتأثر حركة هذه التيارات بشكل السواحل وامتدادها ومدى تواجد الجزر الساحلية ونمط انتشارها.



شكل (59)

الفصل السادس

تقييم الموارد المائية في العالم

تعتبر المنظمات الدولية العاملة في مجال المياه وبخاصة الوكالات المتخصصة التابعة للأمم المتحدة أن المياه وليست الطاقة هي مشكلة القرن الواحد والعشرين.

وقد أيد هذا الرأي المؤتمر الدولي حول الماء والبيئة المنعقد في دبلن عام 1992، حيث اصدر المؤتمر بيانا حول تطور الوضع المائي العالمي وقد اشار المؤتمر في بيانه الختامي الى أن "صحة الانسان ورفاهه وأمنه الغذائي والتنمية الصناعية والنظم الايكولوجية، معرضة جميعها للخطر ما لم تتم ادارة الموارد المائية والأراضي في القرن الحالي وما بعده بفعالية تزيد على ما كانت عليه في الماضي".

كما أكد مؤتمر الأرض المنعقد في ريودي جانيرو عام 1994 نتائج مؤتمر دبلن. وقد تضمن البيان الختامي لمؤتمر ريو 1994 جدول أعمال القرن الواحد والعشرين واشتمل في ميدان المياه استراتيجية دولية لحماية نوعية موارد المياه العذبة وامداداتها. كما أكد المؤتمر على أن المياه هي من أهم العناصر التي يجب توفرها وصيانتها لتحقيق أهداف الاستراتيجية المائية الدولية وفي مقدمتها حماية البيئة وتحقيق التنمية المتواصلة.

ينجم عن زيادة الطلب على الماء لمواكبة النمو السكاني مشكلتين

أساسيتين الاولى ناتجة عن زيادة الضغط على الموارد السطحية والجوفية لتوفير مصادر جديدة وكميات اضافية من الامدادات المائية، والثانية تتمثل في ارتفاع حجم مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي وطرح هذه المياه في الأوساط الطبيعية (التلوث).

وقد بينت الدراسات التي أجريت على مستوى العالم Global Water Assessment أن نصيب الفرد قد انخفض من 12900م^3 عام 1970 الى حوالي 7600م^3 عام 1996 اي بحدود 5300م^3 خلال ربع قرن أو حوالي 41٪.

ان المياه العذبة الصالحة للشرب هي الحياة نفسها وهذه المياه لا تأتي او تتكون بسهوله، فالأمطار تهطل في الفترات الرطبة وبخاصة في الأقاليم الجافة وشبة الجافة وشبه الرطبة، وبعد ذلك تبقى هذه الأقاليم فترة طويلة دون هطول.

يتسارع النمو السكاني في العالم. وتتوسع الزراعة والتصنيع ويرتفع مستوى المعيشة وهذا يتطلب دائما مياه اكثر بإستمرار، .ولكن الجفاف والتلوث وسوء الادارة تحدد امكانية زيادة المياه.

ان كميات المياه الموجودة حاليا في كوكبنا تساوي كميات المياه منذ ان ظهر الإنسان على وجه الأرض. ولكن بدأنا الآن نشعر بشح المياه الصالحة للشرب والاستعمالات المختلفة الأخرى في معظم انحاء العالم. ولا يمكننا زيادة كمية الماء في العالم، لكن بالإمكان زيادة كمية المياه الصالحة للشرب والاستعمالات الأخرى. فالإنسان هو المسؤول عن شح المياه وتلوثها لذلك فمن الضروري عدم تبذيرها، وقد قال رسول الله صلى الله عليه وسلم" لا تسرف في الماء وإن كنت على نهر جار".

اذا اضفنا استهلاك المياه في الصناعة والزراعة فإن نصيب الفرد يصل في الولايات المتحدة الأمريكية مثلا إلى اكثر من 10 آلاف م^3 / السنة، تنخفض هذه الكمية إلى حوالي 8آلاف م^3 / السنة في معظم الدول الصناعية. بينما تنخفض هذه الحصة إلى اقل من 250 م^3 / السنة في معظم الدول الفقيرة.

جدول رقم (11) المتطلبات المائية لبعض الصناعات

الصناعة / طن واحد	متر مكعب
النفط	10
الخضروات المعلبة	0،04
الورق	119
النسيج الصوفي	600
الحديد الصلب	150
الأسمدةو النيتروجينية	600
تعدين الكبريت	11
المطاط الصناعي	2100
الألمنيوم	200
الحرير الصناعي	2660
خيوط الغايير	5600
نسيج القطني	260
السكر	200–400

مشكلات الموارد المائية :

ادت الزيادة الهائلة في عدد السكان والتقدم الصناعي والتقني والتوسع الزراعي والتوسع العمراني في القرن العشرين، اضافة الى عدم اتباع الطرق المناسبة في معالجة مصادر التلوث وانعدام التخطيط السليم، إلى تلوث الموارد المائية واستنزافها. ويمكن اعتبار مشكلتي التلوث واستنزاف الموارد المائية هي المشكلات الرئيسية سواء في العالم الصناعي المتقدم او في الدول النامية.

ويعرف التلوث بأنه وجود مادة او مواد غريبة في المياه، والملوثات هي المواد والميكروبات أو الطاقة التي تلحق الأذى بالإنسان وتسبب له الأمراض. والمياه الملوثة تضر بصحة البيئة وتؤدي إلى حدوث تغير في درجة حرارة الماء وتغير رائحته وطعمه ولونه. ويعتبر التلوث المائي خطير جدا خاصة وأنه لا يعرف الحدود الإقليمية او السياسية وإنما ينقل من منطقة لأخرى. فقد اثر تلوث مياه نهر الفرات في تركيا على نوعية المياه في كل من سوريا والعراق. ويؤثر تلوث نهر الراين في فرنسا على كل من المانيا وهولندا، كذلك ادى شح مياه نهر الكولورادو في الغرب الأمريكي على المكسيك.

مصادر تلوث المياه السطحية :

تعتبر الاستعمالات المختلفة للمياه هي المسؤولة عن مصادر تلوث المياه السطحية. ومن اهم هذه المصادر:

1- المياه العادمة المنزلية :

وهي المياه الناتجة عن استعمالات المنازل، حيث تكون المياه ذات لون

مـائل إلى الاصفرار، وتحتـوي هـذه الميـاه علـى كميـات هائلــه مـن البكتيريـا والفطريات والفيروسات.ويمكن القول بأن 80٪ من المياه المستهلكة للاسـتعمال المنزلي تتحول إلى مياه عادمة.

2- المياه العادمة الصناعية

تستعمل المياه في الصناعة كمادة خام او في الانتاج أو لأغراض التبريد، وبعد استعمال المياه تخرج على شكل مياه عادمة صناعية وتحتوي هذه المياه على مواد كيماوية ضاره وسامة ومواد عالقة ومواد مترسبة ومواد ذائبـة وحوامـض سامة بالإضافة إلى ارتفاع حرارتها.

3- المياه العادمة الزراعية :

وهي المياه الناتجة عن النشاطات الزراعية المختلفة وبخاصة عند استعمال طرق الزراعة الكثيفة وتربية الحيوانات . وتحتـوي الميـاه العادمـة الزارعيـة علـى مواد عضوية سهلة التحليل ولا تشكل خطرا على البيئة، لكن هناك مياه عادمة زراعية ناتجة عن تصنيع علف الحيوانات والتي تحتـوي علـى مـواد عضويـة مثـل حـامض الخليـك ومركبـات النيـتروجين المختلفـة.كمـا أن اسـتعمال المبيـدات المختلفة يؤدي إلى نقل هذه المواد عن طريق مياه الري إلى الماء السطحي المجاور للحقول المزروعة وتلوثها.

4- التلوث بالنفط:

يـزداد تلـوث ميـاه البحـار والمحيطـات بازديـاد نـاقلات النفــط عــددا وحجما. ويتم تلوث مياه البحار والمحيطات والأنهار بسبب غرق ناقلات النفط

كما حدث عندما غرقت سفينة كانيون في بحر المانش عام 1967 وتسرب منها 117 ألف طن من النفط الخام إلى البحر. كما تقوم كثير من السفن بغسل صهاريجها وتغريقها في البحر. كما تحدث عملية تلوث مياه البحار عند استغلال آبار النفط الموجودة في البحار، مثال ذلك عندما تسرب النفط من حقل نورووز الأيراني عام 1983 ولوث مياه الخليج العربي، بالإضافة إلى تلوث مياه الخليج العربي مرة أخرى في حرب الخليج عام 1991

ويعد النفط ومشتقاته مصادر تلوث المياه التي تتميز بانتشارها السريع على سطح الماء، وتكوين طبقة رقيقة يتراوح سمكها بين اجزاء الميكرون وحتى 2سم. وتقوم هذه الطبقة بعزل المياه عن الهواء وبذلك تمنع التبادل الغازي بينهما، هذا ويغطي طن واحد من النفط دائرة يصل قطرها الى 12كم.

5- الأمطار الحمضية

تتكون الأمطار الحمضية في الأقاليم الصناعية حيث يحتوي هواء تلك المناطق على الغبار وأكاسيد النيتروجين والكبريت والتي تهطل على شكل امطار حامضية خاصة في الدول الأوروبية وكندا والولايات المتحدة الأمريكية، وبعد سقوط الأمطار ووصولها لسطح الأرض فإن الملوثات تنتقل إلى المياه السطحية.

اشكال التلوث المائي :

1- التلوث الفيزيائي :

يحدث هذا النوع من التلوث لنتيجة عمليات الانجراف المائي وبخاصة في الأراضي المحروثة والمعراة من الغطاء النباتي وفي مناطق المناجم والصناعات التعدينية.

2- التلوث الكيميائي:

ويحدث نتيجة وجود مواد كيماوية سامة مذابة في الماء مثل املاح الكبريتات والنيترات ومركبات الفوسفور والرصاص والزئبق وغيرها.

3- التلوث الاشعاعي:

ويحدث هذا النوع من التلوث للمياه بسبب الاشعاعات النووية التي تحدث بسبب التجارب النووية او انفجار بعض المفاعلات النووية كما حصل في الولايات لمتحدة وأوكرانيا .

4- التلوث الحراري:

يحدث هذا التلوث بسبب القاء المياه المستخدمة في تبريد المصانع داخل البحار او مجاري الأنهار، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الماء وبالتالي طرد الأكسجين وعدم صلاحيته للحياة النباتية والحيوانية.

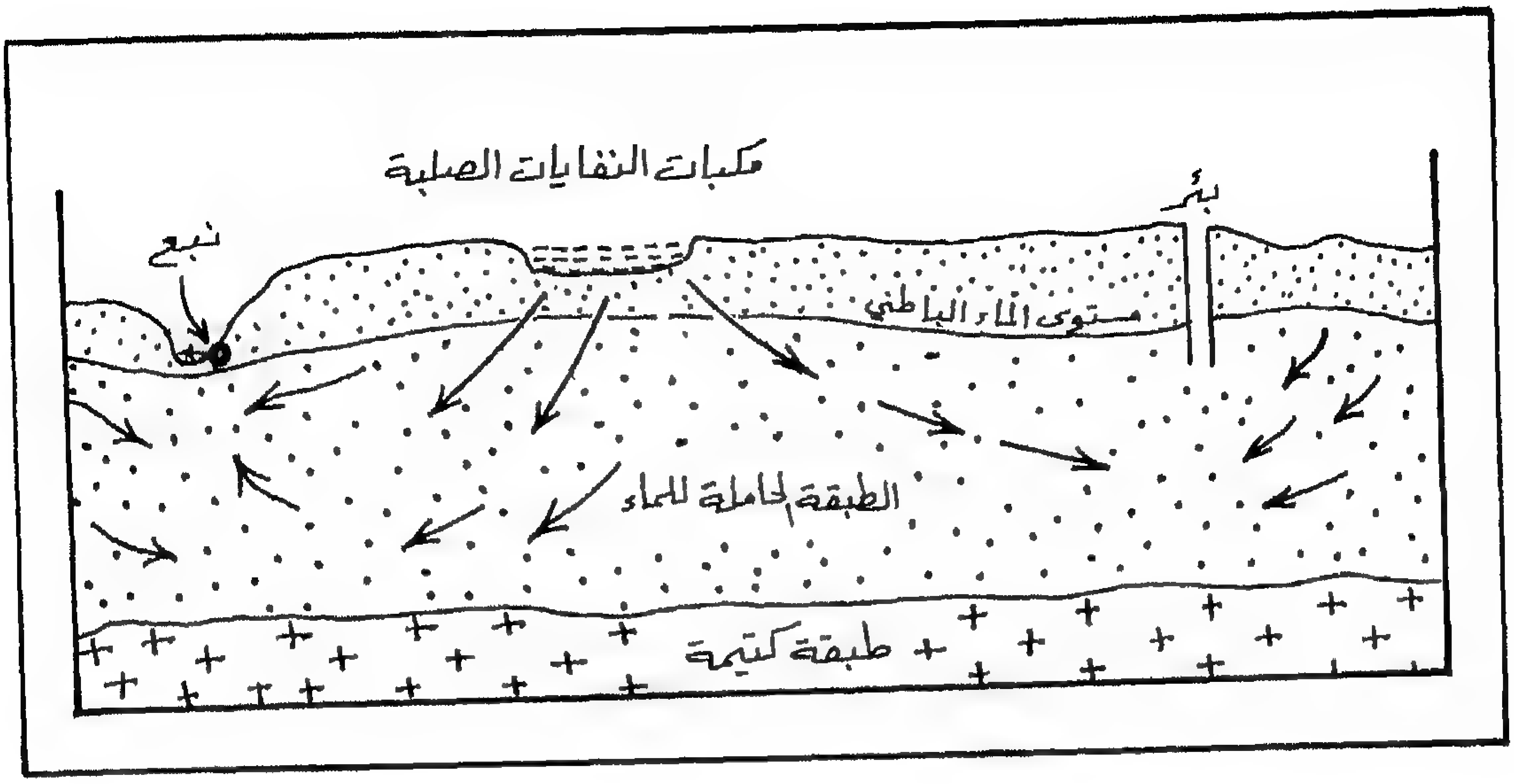
تلوث الموارد المائية الجوفية :

تتعرض المياه الجوفية في مناطق واسعة من العالم إلى التلوث، مما يؤدي إلى عدم صلاحيتها. في الوقت الذي تعتمد عليها مناطق كثيرة من العالم .

اسباب تلوث المياه الجوفية :

1- صرف المياه العادمة المنزلية والصناعية والزراعية في الأحواض السطحية المغذية للماء الجوفي والتي ترشح إلى الطبقات الحاملة للماء الجوفي.

2- طرح مختلف انواع الفضلات الصلبة والتي تتعرض للإذابة عند سقوط الأمطار، ثم تبدأ بالتسرب إلى الماء الجوفي (شكل 60) .



شكل (60) تلوث الماء الجوفي

3- تسرب النفط عند القيام باستخراجه إلى المياه الجوفية.

4- الزراعة الكثيفة، واستخدام الأسمدة والمخصبات الكيماوية والمبيدات، حيث ينتج عن ذلك اذابة هذه المواد وتسربها إلى الطبقات الحاملة للماء الجوفي.

المحافظة على الموارد المائية :

عملا بقوله تعالى (وجعلنا من الماء كل شيء حي). فإنه من الضروري المحافظة على الموارد المائية السطحية منها والباطنية والحد من تلوثها والعمل على ترشيد استهلاكها:

ومن أجل الحد من تلوث الموارد المائية يجب القيام بالخطوات الإيجابية التالية:

1- معالجة النفايات الصناعية والعضوية الناتجة عن مختلف الأنشطة البشرية والتخلص منها بالطرق المأمونة.

2- مراقبة حركة النفط وناقلات النفط والهيدروكربونات في مياه البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات ومراقبة المعادن وبخاصة الزئبق في الكائنات البحرية،ويتم ذلك من خلال ايجاد اجهزة تنسيق وتعاون دولي.

3- حصر النفط المتسرب من الناقلات وفرزه بالوسائل الميكانيكية (حوافز الزئبق) ثم تضييق رقعة الحواجز لتجميع البقع الزيتية في رقعة واحدة لتكون سماكة طبقة الزيت بها كبيرة، بحيث يمكن كشط الزيت منها او سحبها من على سطح الماء بواسطة اجهزة خاصة، وهي اكثر الطرق أمنا وأقلها خطرا على البيئة البحرية.

4- التجميد والتبريد، بحيث يتم تبريد وتجميع الزيت الطافي على سطح الماء بواسطة ثاني اكسيد الكربون ثم تجميع الزيت المتجمد وسحبه ميكانيكيا.

5- مراقبة المصانع المنتجة للمواد السامة. من خلال قوانين تجبرها علـى تنقيـة مياها العادمة .

6- اقامة محطات تنقية لكل التجمعات السكانية للتخلـص مـن الميـاه العادمـة المنزلية ومعالجتها.

7- معالجة مكاب النفايات الصلبة في المدن بطرق اكثر أمنا .

8- التقليل من استخدام المبيدات الكيماوية والتركيز على الضبط البيولوجي والفسيولوجي والوراثي للحشرات الضارة.

الحد من استنزاف الموارد المائية :

تتعرض الموارد المائية إلى استنزاف شديد ومن أجل الحد من الاسـتنزاف لا بد من تطبيق الأجراءات التالية :

1- ادارة الموارد المائية:

فمـن خـلال التخطيـط المركـزي يمكـن للوصـول إلى الإدارة المتكاملـة للموارد المائية . وهي عملية معقدة تشتمل على كافة المراحل المتكاملة لأعمـال التخطيط والتنفيذ والتشغيل والصيانة للموارد المائية. وذلك مـن أجـل حـدوث توازن بين الموارد المائية المتاحة والطلب عليها.

ان تطبيق المفهوم التكاملي للموارد المائية يتم على عدة مستويات هي:

أ- الإدارة المتكاملة للموارد المائية السطحية الدائمة الجريان والموسمية.

ب- الإدارة المتكاملة للمياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة .

جـ- الإدارة المتكاملة لامدادات المياه والطلب عليها .

2- حماية الموارد المائية الجوفية من الاستنزاف عن طريق ترشيد الاستهلاك وذلك للوصول إلى التوازن بين كميات المياه المتوفرة في الخزان الباطني وكمية المياه المسحوبة منه، وكمية ا لمياه الحوضية. والأمثلة على الخلل في التوازن كثيرة في مناطق مختلفة من العالم، بسبب زيادة كميات المياه المسحوبة وعدم قدرة مياه الأمطار على تعويض هذا النقص في مخزون المياه الجوفية.

3- اعادة تدوير واستخدام المياه بعد معالجتها فيزيائيا وكيميائياً وذلك للتخلص من المواد السامة سواء كانت عالقة او مذابة في المياه، وذلك حتى يتسنى اعادة استخدامها.

4- البحث عن مصادر مياه جديدة باستخدام الطرق العلمية الحديثة بواسطة الأقمار الصناعية بهدف تقدير كميات الموارد المائية في مختلف المناطق وبخاصة الأقاليم الجافة وشبه الجافة وشبه الرطبة.

5- ان الضوابط الإقتصادية وبخاصة السياسات السعرية يمكن ان تلعب دورا اساسيا في مجال ترشيد استخدامات المياه.

6- سن القوانين والتشريعات الخاصة بحماية نوعية المياه.

تقييم الموارد المائية في الوطن العربي :

نظرا لأن تنظيم استثمار الموارد المائية وادارتها في الوطن العربي يتم تحت ظروف مناخية متطرفة، فقد كان للتأثيرات الطبيعية على موارده المائية المحدودة انعكاسات سلبية تفوق حدة التأثيرات الناتجة عن النشاطات البشرية.

بينما كانت النشاطات البشرية هي العامل الأساسي لتدهور نوعية المياه في الدول الصناعية والتي حافظت على مخزونها الجوفي.

وقد انخفض نصيب الفرد من الموارد المائية المتجددة المتوفرة من الدورة الهيدرولوجية من حوالي 2200 الى 1100 $م^3$، أي بنسبة 50٪. وسيدخل الوطن العربي عام 2000 في مشكلة العجز المائي، وبما أن الظروف المناخية في الوطن العربي تميل نحو مزيد من الجفاف أو التطرف، وخاصة بالنسبة لنظام المطر وشدة تكرار ظواهر الجفاف والفيضانات (السيول) فانه بات من الضروري تحديد أبعاد هذه المشكلة ووضع الحلول المناسبة لها، علماً بأن الحلول المؤقتة لسد النقص في امدادات المياه في الوطن العربي يعتمد على استنزاف احتياطي المياه الجوفية. ولكن هذه الحلول لا يمكن الاستمرار بها في القرن الحادي والعشرين، بل ان هناك حاجة ماسة لوضع استراتيجية بعيدة المدى تستند الى حقائق وثوابت صحيحة نتيجة للآثار السلبية والايجابية التي طبقتها الدول العربية في النصف الثاني من القرن العشرين.

واذا ما أردنا تقييم الوضع المائي العربي نجد أن هناك نقصا او قصورا بحالة المعرفة عن عدد من عناصر الدورة الهيدرولوجية، وبخاصة التبخر والتسرب أو التغذية المائية، ولسد هذه الثغرات لابد من اجراء تجارب وبحوث معمقة. وغالباً ما نجد عدم كفاية المعطيات والمعلومات في مجال نوعية المياه وانتقال الملوثات وتدهور نوعية المياه الجوفية.

ويعترض طريقة دراسة وتنمية الموارد المائية غير المتجددة والتي تنتشر في أحواض تصل مساحتها الى أكثر من 50٪ من مساحة الوطن العربي عدة

معوقات منها :

1. معوقات اقتصادية : تتعلق بالكلفة العالية لأعمال المسح والحفر في مناطق صحراوية شاسعة.

2. معوقات طبيعية : منها ما يتعلق بطبيعة هذا المورد او انعدام مصادر التغذية المائية لها.

ان استنزاف الموارد المائية في الوطن العربي واستهلاك المخزون المائي وارتفاع تكاليف انتاج المياه نتيجة الهبوط المستمر لمستوى الماء بالاضافة الى ان امتداد الخزانات المائية يكون عبر المناطق الحدودية، كل ذلك يستلزم التعاون بين الدول العربية في عملية دراستها وتنظيم استثمارها.

تواجد الموارد المائية في الوطن العربي :

تصنف الموارد المائية الى موارد مائية سطحية وموارد مائية جوفية، وتسعى معظم الدول العربية الى تقييم مواردها المائية التقليدية على النحو التالي:

أ. الموارد المائية السطحية وتضم :

1. موارد الأنهار الدائمة الجريان.
2. موارد الأودية الموسمية (المؤقتة) الجريان.

ب. الموارد المائية الجوفية وتضم :

1. الموارد المائية الجوفية المتجددة.
2. الموارد المائية الجوفية غير المتجددة.

يتوقف عمر المياه بصورة عامة على موقعها بالنسبة للنظام المائي وعلى أبعاد هذا النظام. ففي سورية توجد مياه جوفية أحفورية تتراوح أعمارها بين 4000 – 6000 سنة، وفي منطقة الخرطوم في السودان في الجزء الأعلى من النظام المائي للحوض النوبي تم تحديد مياه جوفية في الطبقات العليا تتراوح أعمارها بين 1500 – 1600 سنة، أما أعمار المياه في الآبار العميقة فتصل الى 18000 سنة. وفي مصر في الجزء الأوسط والأدنى من هذا النظام الاقليمي تتراوح أعمار المياه بين 20000 – 40000 سنة.

وتتواجد المياه الجوفية غير المتجددة في نوعين من الطبقات الصخرية :

1. مجموعة الصخور الرملية القارية العائدة للزمن الجيولوجي الأول والثاني.
2. مجموعة الصخور الكربوناتية العائدة للزمن الجيولوجي الثالث.

أما الموارد المائية الجوفية المتجددة فتتواجد في مجموعات الصخور التالية:

1. مجموعة الصخور اللحقية العائدة للزمن الجيولوجي الرابع.
2. مجموعة الصخور الفحماتية – الكارستية العائدة للزمن الثاني والثالث.
3. مجموعة الصخور البركانية العائدة للزمن الثالث والرابع.

رغم أن الموارد المائية السطحية، هي الأكثر أهمية من الناحية الكمية حيث تشكل حوالي 88٪ من مجمل الموارد المتجددة، الا أنها تنتشر في جزء محدود من الوطن العربي، ويمكن تقسيم هذه الموارد الى أربعة فئات رئيسية هي:

1. الأنهار الكبرى وتشمل النيل ودجلة والفرات.

2. الأنهار المتوسطة الحجم، وتشمل نهر الأردن والعاصي والسنغال وشيبلي وجوبا.

3. الأنهار الصغيرة الحجم وتنتشر في سواحل سوريا ولبنان والجزائر والمغرب.

4. الأودية الموسمية الجريان وهي واسعة الانتشار في كل الدول العربية.

وبشكل عام فقد تم استثمار الطبقات المائية على نطاق واسع في الدول العربية خلال الربع الأخير للقرن العشرين. وقد شهدت المناطق الآهلة بالسكان استثمارا مكثفا نجم عنه هبوطاً ملحوظاً في المناسيب واستنزاف للمخزون وتدهور للنوعية وبخاصة في المناطق الحضرية والساحلية.

اما موارد الأنهار الدائمة الجريان فقد تم تنميتها واستغلالها بواسطة سدود تخزينية كبيرة أو متوسطة أو صغيرة الحجم. كما أنشئ على مجاري الأودية سدود تحويلية أو تخزينية لأغراض الري والشرب أو لتغذية المياه الجوفية، وما زال جزء هام من الموارد المائية السطحية بشكل عام وموارد مياه الأودية بشكل خاص يفقد بالتبخر، وثمة مجال واسع لتنمية هذه الموارد.

حجم الموارد المائية في الوطن العربي :

ساهم المركز العربي للدراسات المائية خلال الثمانينات من القرن العشرين في بلورة صورة واضحة عن الوضع المائي العربي.

لقد بينت الدراسات ان حجم الموارد المائية المتاحة في الوطن العربي هو حوالي 340 مليار م^3 جدول (13) الا ان هناك دراسات أخرى بينت ان حجم الموارد المائية المتاحة في الوطن العربي هو حوالي 300 مليار م^3، ويعود ذلك الى :

1. عدم كفاية سجلات الأرصاد الجوية ووجود ثغرات في السجلات الموجودة.

جدول (13) الموارد المائية المتجددة المتاحة للاستثمار في الوطن العربي (كم^3)

الاقليم	السطحية	الجوفية	المجموع
المشرق العربي	112	12	124
الجزيرة العربية	8	05	13
الاقليم الأوسط	131	09	140
المغرب العربي	44		.

2. عدم كفاية المعطيات والبيانات عن بعض عناصر الدورة الهيدرولوجية في الأحواض المائية وخاصة التبخر والتسرب والتغذية المائية للخزانات الجوفية.

3. عدم التوصل الى اتفاقيات في بعض أحواض الأنهار المشتركة.

4. عدم دقة التقديرات لمياه الأنهار الدائمة الجريان والأودية المؤقتة الجريان.

تتوقف النسبة من حجم الموارد المائية المتجددة القابلة للاستثمار في الوطن العربي على عدد من العوامل أهمها العوامل الطبيعية (الهيدرولوجية) والاقتصادية والتقنية، علما بأن الجدوى الاقتصادية لمشروعات تنمية الموارد المائية تختلف حسب تغير الأوضاع الاقتصادية وتزايد ندرة المياه مع مرور

الوقت، ففي ظل الظروف الراهنة، تتراوح نسبة الموارد المائية المتوفرة القابلة للاستثمار ما بين 50٪ و 90٪ (كما في الجدول 14). الا أنها قد ترتفع الى نسب عالية في أحواض الأنهار الكبرى كالنيل ودجلة والفرات، وبالتالي يمكن أن تصل في المتوسط الى 85٪ على مستوى الوطن العربي، لذلك فان الموارد المائية القابلة للاستثمار تكون بحدود 250 مليار م^3 فقط.

جدول (14) نسبة الموارد المائية القابلة للاستثمار في بعض الدول العربية

القطر	الموارد المائية القابلة للاستثمار			النسبة المئوية
	الموارد السطحية	الموارد الجوفية	الموارد المتجددة	
الجزائر	5.7	1.75	1.45	٪53
المغرب	16	5	21	٪70
تونس	2.1	1.7	38	٪91

أما تقدير حجم الموارد المائية القابلة للاستثمار في الأحواض المائية الجوفية فهو من الأمور الأكثر تعقيداً نظراً لعدم وجود أسس علمية مقبولة عالميا، فالمنهجيات المعروفة في هذا المجال تحدد حجم الأجسام المائية من خلال تقدير الحجم الفعال للمسامية Effective pore volume والتي تتراوح بالنسبة للصخور الرملية – وهي الأوسع انتشاراً في الوطن العربي ما بين 5–10٪.

استنادا الى هذا المفهوم فقد تم تقدير المحتوى المائي لأكبر مخزون للأحواض المائية غير المتجددة في الوطن العربي وهو الحوض النوبي بحوالي 150000 كم^3.

ومما يدعو للقلق هو تناقص حصة الفرد في الوطن العربـي مـن 2200 م^3 عام 1970 الى 1100م^3 عام 1995، أي أن هناك نقصاً حادا يصـل الى 50٪. أمـا تطور نصيب الفرد في الوطن العربي فقد يصل عام 2000 الى 950م^3 والى حوالي 500م^3 عام 2025 كما في الجدول (15) :

جدول (15): نصيب الفرد المتوقع من الموارد المائية المتاحة / م^3 / سنة خلال الفترة (2000 – 2030م)

السنة / الاقليم	2000	2010	2020	2030
المشرق العربي	1924	1380	1000	720
الجزيرة العربية	295	208	146	103
الاقليم الأوسط	887	664	497	372
المغرب العربي	758	577	439	333
الوطن العربي	951	693	520	384

الطلب على الماء في الوطن العربي :

هنـاك تمييز واضـح بـين الاحتياجـات المائيـة والطلـب علـى المـاء، فالاحتياجات المائية ترتبط بالنمو السكاني ومتطلباته الأساسية من المياه للشرب وانتاج الغذاء وتنمية القطاعـات التنموية وخاصـة القطـاع الصنـاعي (الجـدول 16). بينما يتم احتساب الطلب على الماء على التفاعل الاقتصادي بـين العـرض والطلب اي أن اقتصاد السوق يلعب دوراً هاماً في تقدير الطلب وتخصيص المياه.

جدول (16) الطلب على الماء لمختلف الاستعمالات لأقاليم الوطن العربي خلال الفترة (2000 – 2030 م) مليار م^3

الاقليم	السنة / الاحتياجات	2000	2010	2020	2030
المشرق العربي	شرب	1716	4495	6273	8098
	صناعة	1212	2369	3854	5690
	زراعة	71812	75219	77996	77651
	اجمالي	74770	82083	88123	91439
الجزيرة العربية	شرب	2181	3203	4238	5433
	صناعة	783	1529	2341	3587
	زراعة	24919	26473	27716	28587
	اجمالي	27883	31205	34295	37607
الاقليم الأوسط	شرب	4019	6162	8362	11056
	صناعة	1088	2308	3620	5985
	زراعة	133808	141077	147067	151623
	اجمالي	138915	149547	159049	168664
المغرب العربي	شرب	4217	6346	8788	11432
	صناعة	1449	2875	4541	7073
	زراعة	89689	94598	97892	101669
	اجمالي	95355	103819	111221	120174
الوطن العربي	شرب	12133	20207	27661	36019
	صناعة	4532	9081	14356	22335
	زراعة	320258	337367	350671	359530
	اجمالي	336923	366654	392688	417884

لقد استخدمت في معظم الأقطار العربية تعابير مثل "الاحتياجات المائية" و"استخدامات المياه " و "استعمالات المياه" " و "الطلب على الماء" وكلها تدل على مفهوم واحد.وقد تم في عدد من الأقطار العربية تطبيق المبادئ الاقتصادية من خلال "السياسات السعرية" كوسيلة لرفع كفاءة الاستعمالات المائية المختلفة وللحد من الهدر وبالتالي ادارة الطلب والاقتصاد في استعمالات المياه.

ويلاحظ بأن الدول التي تمتلك موارد مائية متجددة تزيد على 1000م^3 للفرد في السنة تقدر احتياجاتها وفق الأسس التالية :

1. توفير كامل متطلبات الشرب.
2. تنمية القطاع الصناعي.
3. تحقيق الأمن الغذائي.

وبسبب التزايد السكاني يتناقص نصيب الفرد من الموارد المائية وسوف تتناقص نسبة الاكتفاء الذاتي للغذاء تدريجيا، الا اذا تم التوصل الى توازن في معادلة الموارد والطلب باستخدام وسائل مختلفة مثل ترشيد الطلب **Demand Management** وتحسين الانتاج وزيادة الانتاج الزراعي وتناقص معدل النمو السكاني.

وقد أدت رغبة الدول العربية لتحقيق أمنها الغذائي الى ارتفاع حاد في الطلب على الماء واستنزاف جزء هام من مخزون المياه الجوفية.

وسوف تستمر تنمية الموارد المائية ما دامت الظروف الاقتصادية والطبيعية تسمح بذلك، وهناك امكانية لزيادة حجم امدادات المياه من 180

مليار م^3 الى حوالي 250 مليار م^3 حسب التقديرات الحالية الموضحة في الجدول(17) :

(جدول 17) تنمية الموارد المائية في الوطن العربي / مليار م^3

السنة / الموارد	2000	2010	2020	2030
الموارد المائية المتجددة	190	215	235	250
الموارد المائية غير التقليدية	13	15	17	19
امدادات المياه المتاحة للتنمية	203	230	252	268

ادارة الموارد المائية في الوطن العربي: Management of Water Resources

لقد تطور مفهوم ادارة الموارد المائية خلال العقود الأخيرة من القرن العشرين من خلال الخبرة المكتسبة على مختلف المستويات الوطنية والاقيلمية والدولية.

وقد طرح خبراء الأمم المتحدة في هذا المجال مفهوم الادارة المتكاملة للموارد المائية– **International Water Resources Management** منذ عام 1977 وقد ارتكز هذا المفهوم على الادارة المركزية. وادارة الموارد المائية هي عملية معقدة تشتمل على كافة المراحل المتكاملة لأعمال التخطيط والتنفيذ والتشغيل والصيانة لتلك الموارد مع الأخذ بعين الاعتبار كافة المعوقات

والعوامل المؤثرة والفاعلة في ذلك لتقليل العوائد السلبية وزيادة العوائد الاقتصادية للمجتمع، ومن أجل احداث توازن بين الموارد المائية المتاحة والطلب عليها.

الأساليب المتبعة في الادارة المتكاملة للموارد المائية :

تعتبر كل من العدالة في التوزيع والاستدامة وحماية البيئة المبادئ الاساسية لتحقيق أهداف السياسات المائية. وحتى تتم ادارة الموارد المائية بشكل متكامل يجب استخدام أساليب مناسبة وفعالة ومن هذه الأساليب :

- المنهج التكاملي **Integrated Approach**
- المنهج الشمولي **Wholistic Approach**
- المنهج التشاركي **Participatory Approach**
- المنهج الاقتصادي **Economical Approach**

ويتقارب كل من المنهج التكاملي والمنهج الشمولي الى حد كبير، ويعتمد هذان المنهجان على أن محدودية الموارد المائية وحساسية الأوساط المائية تستلزم وضع السياسات المائية القطاعية في اطار السياسة الوطنية للتنمية الاجتماعية والاقتصادية الشاملة.

ويساهم هذان المنهجان في حل مشاكل مائية متعددة، الا أن تخصيص المياه وادارتها في معظم القطاعات كالشرب والصناعة والزراعة يتم بصورة شبه مستقلة مما يؤدي الى تدني كفاءة استثمار الموارد المائية المتاحة وتدهور الوضع المائي وخاصة في الأحواض المائية الجوفية.

أما المنهج التشاركي فيقتضي التفاعل بين واضعي السياسات المائية والجمهور، وهذا يعني اتخاذ القرارات بالتشاور مع الجمهور واشراكه في تخطيط وتنفيذ المشروعات المائية. ولكي يتم التعاون والتكامل والتنسيق بين الجهات الرسمية والشعبية على مختلف المستويات، ويتعين على السكان تنظيم أنفسهم في جمعيات او اتحادات تعبر عن مصالحهم ورغباتهم. ويلعب كل من التثقيف والارشاد والتوعية دوراً فاعلاً لتحقيق التكامل بين الجمهور وواضعي السياسات المائية.

وتعتبر المبادئ الاقتصادية من الأدوات الفعالة التي يمكن استخدامها لحل المشكلات المائية، فالمبادئ الاقتصادية تسهم في رفع كفاءة استعمالات المياه. وهناك انعكاسات هامة للنشاطات المختلفة في قطاع المياه على الاقتصاد الوطني، كما أن للسياسات الاقتصادية انعكاسات هامة على مجمل الطلب على الماء، فاستراتيجية التنمية والسياسات المائية والنقدية والتجارية تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر على طلب الماء واستعمالاته المختلفة.

كما يجب أن تساهم الادارة المتكاملة للموارد المائية في حل المشكلات المائية الرئيسية وأهمها:

1. تخفيف الآثار السلبية لاستثمار الموارد المائية.
2. ايجاد الحلول المناسبة لمشكلات التنافس والنزاع على استخدامات المياه.

لقد اصبح تطبيق المنهج التكاملي لادارة الموارد المائية ضروريا في الوطن العربي وذلك على عدة مستويات :

1. الادارة المتكاملة للموارد المائية السطحية الدائمة والموسمية الجريان.

2. الادارة المتكاملة للمياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة.

3. الادارة المتكاملة للموارد المائية السطحية والجوفية معاً.

4. الادارة المتكاملة للمياه التقليدية وغير التقليدية.

5. الادارة المتكاملة لامدادات المياه والطلب عليها.

ومن أجل تحقيق الادارة المتكاملة للموارد المائية يتعين على الأقطار العربية اتباع الوسائل التالية :

الوسائل الاقتصادية :

تلعب الوسائل الاقتصادية وبخاصة السياسات السعرية دورا أساسيا في مجال ترشيد استعمالات المياه، ولتحديد اسعار المياه لابد من الأخذ بعين الاعتبار تحديد هيكل التعرفة المعتمدة على تكاليف الانتاج وتوزيع المياه من جهة والظروف الاجتماعية والاقتصادية من جهة ثانية والهدف من ذلك هو التوصل الى سياسة سعرية قابلة للتطبيق.

كما أن الدول العربية مطالبة باستخدام اجراءات تجبر القطاع الصناعي على حماية نوعية المياه نظراً لخطورة التلوث الصناعي وصعوبة معالجته، وذلك من خلال اعادة التدوير **Recycling**.

الوسائل المؤسسية :

1. من أجل تحقيق أهداف الادارة المتكاملة للموارد المائية يجب أن تكون هناك جهة مركزية تخضع لها كافة أو معظم نشاطات قطاع المياه، وهذا يمثل خطوة سليمة وحلاً مناسباً لمشكلات الازدواجية والتنسيق، كما يحقق درجة عالية من التكامل.

2. كما يمكن احداث سلطة مركزية من خلال ايجاد مجلس او سلطة تنسيقية فعالة ذات صلاحيات واسعة في هذا المجال.

3. كما أن الادارة المائية على مستوى الأحواض هي الطريقة الأكثر ملائمة لضمان استثمار الموارد المائية من حيث توفير الاحتياجات والمحافظة على الموارد المائية.

4. القيام بتدريب الأجهزة الفنية بالتعاون مع المنظمات ومراكز التدريب الدولية، والسعي لتنظيم برامج دورية تسمح للعاملين لدى المؤسسات المائية بمواكبة التطور العلمي والتكنولوجي في مجال تنمية وادارة الموارد المائية.

الوسائل التشريعية :

تعد الوسائل التشريعية من أهم الوسائل والآليات التنفيذية والتي ينبغي استخدامها لادارة الموارد المائية. وتهدف الوسائل التشريعية الى ما يلي :

1. حماية الموارد المائية من خلال منح تراخيص مسبقة من أجل الانتفاع بالمياه.

2. منح تراخيص استثمار المياه السطحية والجوفية ضمن شروط تضمن حماية الموارد المائية.

3. وضع التشريعات الحديثة شروطاً وضوابط صارمة تهدف الى الحد من التلوث والاستنزاف وتجنب اختلاط مياه الطبقات التي تتميز بنوعيات متباينة.

4. يجب على الدول العربية ان تقوم بسن القوانين الخاصة بحماية نوعية المياه أو حماية البيئة، أما ما يعترض تطبيق مثل هذه القوانين فهو عدم وضوح أو كفاية المعلومات عن انتقال وانتشار الملوثات في الأوساط الطبيعية وعن قدرة الأوساط المائية المشبعة وغير المشبعة على التنقية الذاتية.

خلاصة تقييم الموارد المائية في الوطن العربي

1. تشير الدراسات الوطنية الى أن حجم الموارد المائية المتاحة في الوطن العربي لا يتجاوز 300 مليار م^3 منها 250 مليار م^3 قابلة للتنمية لتوفير امدادات مائية للاستعمالات المختلفة. ومن أجل تحقيق اكتفاء ذاتي بالغذاء سيرتفع الطلب على الماء في الربع الأول من القرن الواحد والعشرين من 330 مليار م^3 الى 500 مليار متر مكعب. أي أن العجز المائي سيصل عام 2025 الى حوالي 200 مليار م^3.

2. التنافس على الموارد المائية خاصة في الأحواض المائية الجوفية المشتركة. وبشكل خاص ما يتعرض له الوطن العربي من استنزاف لموارده المائية من قبل تركيا واسرائيل ودول الحوض الأعلى لنهر النيل.

3. تضافر الجهود العربية لمواجهة أزمة المياه مستقبلاً وانتهاج سياسة استراتيجية قومية للأمن المائي العربي كأساس للأمن الغذائي وللأمن القومي.

4. تفعيل دور المياه في الخطط التنموية وتخطيط وادارة الموارد المائية على نحو متكامل من خلال تطوير قطاع المياه.

5. تطوير المعرفة عن استعمالات المياه وتحديثها دوريا عن طريق الرصد المستمر والمراقبة الفعالة للسحب أو الضخ من المصادر المائية الجوفية والسطحية وتقدير كميات الصرف الصحي والصناعي والزراعي، وتحديد مصادر التلوث.

6. ان تنمية الموارد البشرية يجب أن تبدأ بتطوير منـاهج التعليـم في المـدارس والمعاهد والجامعات لترسيخ مبادئ وأسس حماية وادارة الموارد المائية.

7. هناك حاجة ماسة لاجراء أبحاث أساسية وتطبيقها لتخفيض تكاليف انتاج المياه بالتحلية ولترشيد استخدامها.

8. يجب أن ترتبط عملية – تنمية المـوارد المائيـة ارتباطـا عضويـا مـع عمليـة تقييم وادارة الموارد المائية من خلال آليات للتغذية الراجعة.

9. تعتبر الادارة المتكاملة للموارد المائيـة مـن أنجـح الطـرق المتاحـة لتحسـين أوضاع الموارد المائية وحمايتها من حيث الكم والنوع.

10 تعتبر ادارة الطلب على المـاء مـن أهـم الوسـائل لزيـادة امـدادات الميـاه، حيـث يتـم بواسـطة ذلـك تخفيـض الاسـتهلاك والهـدر والفـاقد الى الحـد الأدنى.

11. ضـرورة اتبـاع سياسـة سـعرية مناسـبة وتحديـد تعرفـة للمـاء تـأخذ بعـين الاعتبار تكاليف انتاجه وتوزيعه والظروف الاجتماعية والاقتصادية، كما تعتبر الوسائل التسعيرية أداة فعالة لادارة الموارد المائية.

12. تعزيز التعاون بين الدوائر والسلطات والمنظمات العاملة في ميدان المياه في المنطقة العربية وتنسيق العمل فيما بينها وتدعيم الجهود القطريـة في مجـال تقييم وتنمية وادارة الموارد المائية مـن خـلال برامـج اقليميـة تنـهض بـها المنظمات العربية العاملة في حقل المياه.

المصادر والمراجع

المراجع والمصادر العربية :

1. ابو سمور، حسن، "التصريف المائي لوادي الموجب"، مجلة جامعة دمشق، بحث مقبول للنشر، 1998.

2. آغا، شاهر جمال،"علم المناخ والمياه"، الجزء الثاني، مطبعة الاحسان، دمشق 1987.

3. درادكه، خليفة، "هيدرولوجية المياه الجوفية"، نقابة المهندسين الأردنيين، عمان 1987.

4. الزوكة، محمد، "جغرافية المياه"، دار المعرفة الجغرافية، الاسكندرية 1995.

5. كاشف الغطاء، باقر أحمد، "علم المياه وتطبيقاته"، كلية الهندسة، جامعة بغداد، 1981.

6. كمدنة، حيدر عبد الرزاق، "المياه الجوفية وأهمية حمايتها من التلوث"، آفاق جامعية، العدد 29، 1981

7. الصحاف، مهدي محمد علي وآخرين، "علم الهيدرولوجي"، المكتبة الوطنية بغداد، 1983.

8. شحادة، نعمان، "المناخ العملي"، مطابع النور النموذجية، عمان، 1983.

9. الخطيب، حامد، "فيضانات نهر الزرقاء والاحوال الجوفية المرافقة لها"،

رسالة دكتوراه غير منشورة جامعة بغداد، 1997.

10. خوري، جان، "الموارد المائية المتاحة للوطن العربي في مطلع القرن 21"، مجلة الزراعة والمياه، اكساد، العدد 16، دمشق، 1996.

11. فايد، يوسف، "جغرافية البحار والمحيطات"، دار الثقافة والنشر، القاهرة 1993.

12. عوض الله، محمد لتمي، "الماء"، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1979.

13. وزارة المياه والري الأردنية، "بيانات غير منشورة"، عمان، 1998.

14. ولسون، ي، م. ترجمة نزار علي السبتي ولبيب خليل اسماعيل "الهيدرولوجية الهندسية"، جامعة البصرة، 1982.

المراجع والمصادر الأجنبية :

1. Bruce , J.P., (1980), "Int. to Hydrometeorolog" , 3rd. ed. Oxford.

2. Chorle , R.H.J. , (1969) , "Water , Earth and Man", Methuen , N. York

3. Eagleman , (1985) , "Meteorology" , 2nd. Ded . Belmont , California .

4. Hammer , M.J. (1981), "Hydrology and Quality of Water Resources" , John Wiley , N.Y.

5. Ionides , M., 1977, "Shall we run short of Water" , Vol. 4 Athens

6. Knapp, B.J. (1979) , "Elements of Geographical Hydrology", George Allen and Un win LTD.

7. Michael , N.D., 1997 , "fundameatals of G.I.S". N.M. state University .

8. Mutrga , K.N. (1986), "Applied Hydrology" , Mc Graw - Hill N. York .

9. Salishbury , D. F., 1977, "World Thisst of Water", Tec. Rev.

10. Sverre, P. 1969 , "Int. to meteorology" , 3rd. ed. Mcgraw - Hill , New York .

11. Stow, K.S., 1979. "Ocean Science" Jogn wiley and sons, N.York.

12. Thurman, H.V. 1983, "Essentials of Oceanography", Belland Hawell Co., Columbus, Ohio.

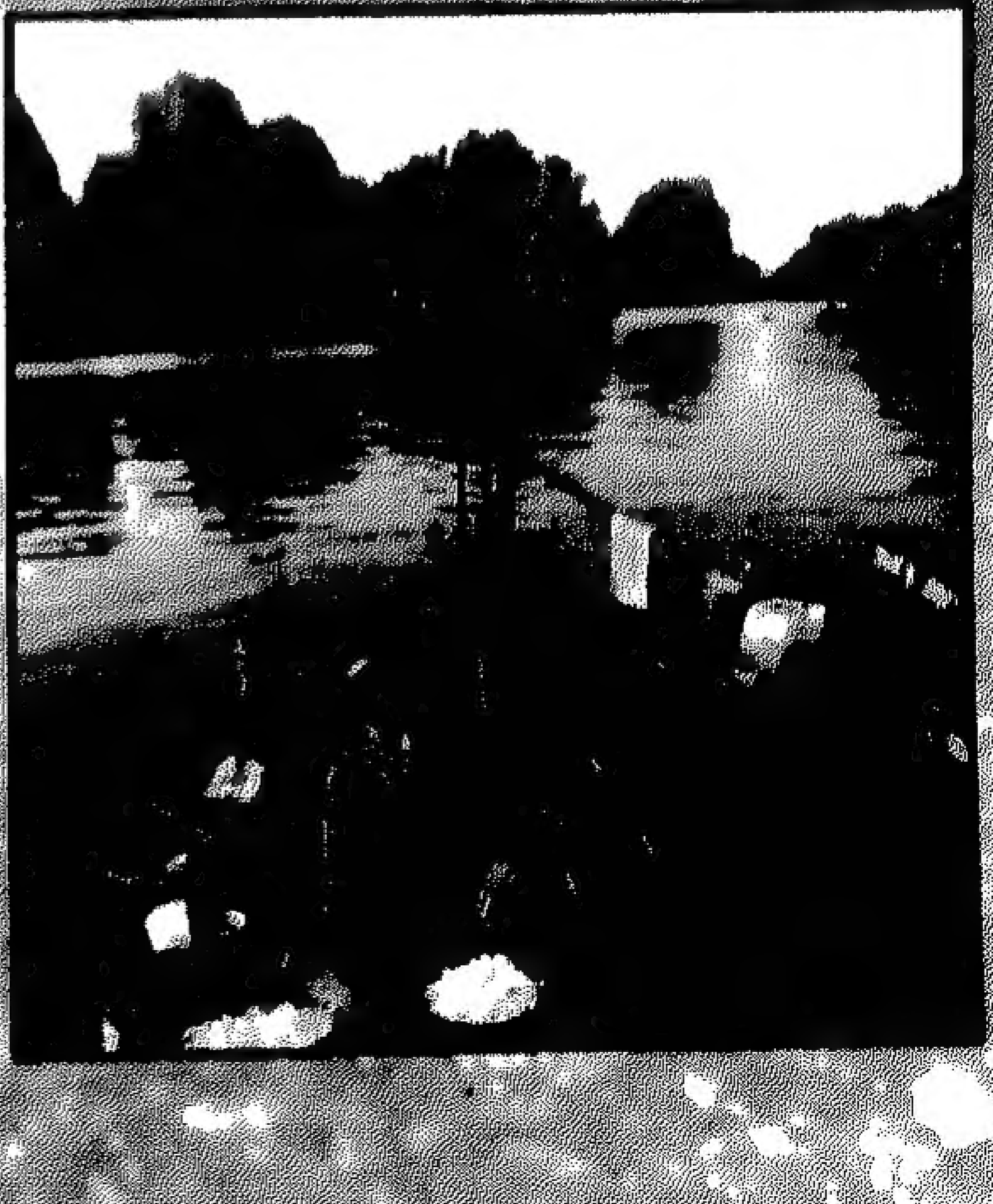
13. U.N. Water Conf. Sec 1977 , "Assesment of the WorLd Water Situation" , Vol. 43 , No. 254 , Athens .

14. Vladimirescu , I. 1978, "Hydrology" , in Did. Buchares , ed.

15. Ward , R.C. , 1967, "Principles of Hydrology" , Mcgraw - Hill, London .

جغرافية
الموارد المائية

دار صفاء للطباعة والنشر والتوزيع

مجمع الفحيص التجاري - هاتف وفاكس ٤٦١٢١٩٠

ص.ب ٩٢٢٧٦٢ - عمان ١١١٢١ - الأردن